

区分変更	
変更後資料番号	PNC
決裁年月日	平成10年3月26日

コールドトラップによるナトリウム-水反応生成物除去試験

SWAT-3 RECT-II 試験



1985年9月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
F	N941 85-127

この資料は 図書室保存資料です
閲覧には技術資料閲覧票が必要です

動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。
したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払って
ください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、
特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

す
の





配布限定
PNC BN 941 85-127
1985年9月

コールドトラップによるナトリウム-水反応生成物除去試験 SWAT-3 RECT-II 試験

田辺 裕美*, 渡辺 智夫*, 宇佐美正行*

要旨

高速増殖原型炉「もんじゅ」及びそれに続く大型炉の蒸気発生器でのナトリウム-水反応事故後の運転法の確立のため、蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT-3）を用いた反応生成物除去試験運転（RECT-II）を実施した。これはRun 18注水試験で発生し、ナトリウム系内に残留した反応生成物を、コールドトラップを循環する高温ナトリウムによって洗浄・捕獲が可能な事を確認するものであった。大量の不純物の捕獲による閉塞を恐れてコールドトラップはメッシュレス型の物を用いた。

純化運転は1984年4月4日より開始し主循環系ナトリウムのプラグ温度が187°Cまで低下した4月26日に打切った。本試験で得られた主な結果は以下の通りである。

- i) 試験後の観察ではEV下部やナトリウム出口配管に沈析していた反応生成物は完全に除去されていた。
 - ii) この事から、42kgの注水によって生じた生成物のうち高温ドレン後も系内に残留した14 kg-H₂Oのほとんどが本運転で除去されたと結論される。
 - iii) しかし、スタグナント部やクレヴィス部を模擬した試験体中のNaOHは試験後も一部残っており、このような部分に侵入した微量生成物の除去は高温ナトリウムの循環だけでは不充分である。
 - iv) 酸素の物質移動係数として $2 \times 10^{-4} [\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{Hr ppm})]$ が得られた。
 - v) コールドトラップによる生成物除去を効率的に行なうにはメッシュレスタイプで極端な縮流構造を避けるなど、閉塞しにくく、また容易に閉塞物除去可能な構造が必須である。
- このような点に注意すれば一層のスピードアップは可能であり、本経験により「もんじゅ」でのナトリウム-水反応事故後の処置法の具体的な計画策定が可能となった。

* 大洗工学センター 安全工学部 プラント安全工学室



NOT FOR PUBLICATION
PNC SN941 85-127
Sept. 1985

The Sodium-Water Reaction Product Removal Test
by Use of Cold Trap

- SWAT-3 RECT-II Test -

Hiromi Tanabe*, Toshio Watanabe*,
and Masayuki Usami*

Abstract

RECT-II (the Removal Test of Reaction Products by Cold Trap) was conducted by use of SWAT-3 (the Steam Generator Safety Test Facility) at PNC in order to construct the post-accident operation of steam generators of the Prototype FBR Monju and a larger plant following it. In prior to the test, some amount of the sodium-water reaction products (SWRP) generated in the water injection test (Run 18) was remained in the sodium system. An objective of the test is to confirm the purifying method to remove SWRP by hot sodium circulating through a cold trap (CT). A meshless type cold trap was selected to avoid choking by impurities and to enable efficient SWRP removal.

RECT-II started on April 4, 1984 and terminated on April 26 when the plugging temperature decreased to 187°C. Major results obtained in the test are as follows:

- 1) Post-test observation revealed that the SWRP having remained at the bottom of the evaporator and the sodium outlet pipe were completely removed through the purification operation.
- 2) Hence, it is concluded that after the hot draining the SWRP of 14 kg-H₂O remained in the sodium system out of that generated by the 42 kg-H₂O injection and that almost all of the former was removed through the operation.

* FBR Plant Safety Section, Safety Engineering Division
O-arai Engineering Center

- 3) However, some amount of the hydrocarbon-oxide and SWRP in the slit articles simulating crevice and stagnant region still remained after the operation. Then it is concluded that it is insufficient to remove SWRP in crevice and stagnant region by the circulation of hot sodium.
- 4) A mass transfer coefficient of oxygen is evaluated as 2×10^4 [g/(mm H ppm)] if the cross section of the evaporator and inner surface of the 8 inch horizontal pipe are assumed to be the entire surface area of SWRP.
- 5) Since the choking of the cold trap degrades the efficient SWRP removal, it is essential to develop a cold trap which hardly chokes and easily regenerates even after choking; one of answers for this request is a meshless type cold trap with a settling chamber and without strong contraction flow.

目 次

1.はじめに	1
2.試験運転の概要	3
2.1 運転基本要領	3
2.1.1 運転日数の決定	3
2.1.2 メッシュレス・コールドトラップの採用	3
2.1.3 基本運転条件	4
2.1.4 基本運転計画	5
2.2 試験装置	6
2.2.1 系統概要	6
2.2.2 コールドトラップ	6
2.2.3 反応容器	7
2.3 計測系	9
2.3.1 計測系概要	9
2.3.2 プラギング計	9
2.3.3 ナトリウム・サンプリング計	12
2.3.4 隙間試験体	12
2.3.5 熱電対配置	13
2.3.6 抵抗式液面計	13
2.4 SWAT-3 Run 18 注水試験の概要	16
2.4.1 試験条件	16
2.4.2 注水量の算出	16
2.4.3 注水後のナトリウム・ドレン	17
2.4.4 内部観察結果	17
3.運転試験結果	19
3.1 運転経過概要	19
3.2 プラグ温度挙動と捕獲不純物量の評価	20
3.2.1 不純物量の特定	20
3.2.2 純化式のモデル	20
3.2.3 詳細運転経過	21

3.3 ナトリウム・サンプリングの結果	25
3.4 抵抗式液面計の挙動と反応生成物化学分析結果	26
3.5 隙間試験体及びNaOH試験体解体結果	34
3.6 試験後の観察	36
4. 考 察	37
4.1 捕獲酸素量と注水量との関係	37
4.2 CT効率と溶解率	40
4.2.1 CT効率	40
4.2.2 溶解率と物質移動係数	40
4.3 提 言	42
5. おわりに	43
6. 参考文献	44

List of Tables

Table 2.2.1	コールドトラップの主な仕様	8
Table 2.3.1	本試験で使用したプラギング計の主な仕様	11
Table 2.4.1	SWAT - 3 Run 18 試験条件	18
Table 3.2.1	捕獲酸素／水素量(計算値 式(3.4))	24
Table 3.3.1	分析結果	25
Table 3.3.2	各運転状態	25
Table 3.4.1	分析結果	29
Table 3.4.2	Na + NaH割合	29
Table 3.4.3	試料No.1, No.3 の水素量	30
Table 3.4.4	分析結果	30

List of Figures

Fig. 2.1.1	RECT - II 運転工程計画	45
Fig. 2.1.1	SWAT - 3 Run 18 のフローシート	46
Fig. 2.2.2	コールドトラップの組立図	47
Fig. 2.2.3	SWAT - 3 Run 18 反応生成物仕切板	48
Fig. 2.3.1	PL - CA 型プラキング計系統図	49
Fig. 2.3.2	振動法によるプラグ温度測定例	50
Fig. 2.3.3	Na サンプリングライン	51
Fig. 2.4.4	ナトリウムサンプリングチューブ	51
Fig. 2.3.5	隙間試験体組立図	52
Fig. 2.3.6	反応容器内隙間試験体仕切板の設置	53
Fig. 2.3.7	CT 内熱伝対配置図	55
Fig. 2.3.8	抵抗式液面計	56
Fig. 2.3.9	抵抗式液面計	57
Fig. 2.3.10	抵抗式液面計寸法 - コールドトラップ内容積の関係	57
Fig. 2.4.1	SWAT - 3 Run 18 注水ラインフローシート	58
Fig. 2.4.2	The Amount of Injected Water and Heated pressure	59
Fig. 3.1.1	Hlstory of Temperatures in SWAT - 3 RECT - 2 April 4 - 26, 1984	60
Fig. 3.2.1(a)	Plugging Temperature Feature (Obvious Double Break)	61
Fig. 3.2.1(b)	Plugging Temperature Feature (Obvious Double Break)	62
Fig. 3.2.1(c)	Plugging Temperature Feature (Single Break)	63
Fig. 3.2.2	Relation between Subsaturation Temperature and Flow Drop Rate	64
Fig. 3.2.3	純化挙動モデル	65
Fig. 3.2.4(a)	Oxygen Plugging Temperatures in RECT - 2 April 4 - 26, 1984	66
Fig. 3.2.4(b)	Oxygen Pluggjng Temperatures in RECT - 2 April 4 - 26, 1984	67
Fig. 3.2.4(c)	Oxygen Plugging Temperatures in RECT - 2 April 4 - 26, 1984	68

Fig. 3. 2. 4(d) Oxygen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	69
Fig. 3. 2. 4(e) Oxygen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	70
Fig. 3. 2. 4(f) Oxygen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	71
Fig. 3. 2. 5(a) Hydrogen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	72
Fig. 3. 2. 5(b) Hydrogen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	73
Fig. 3. 2. 5(c) Hydrogen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	74
Fig. 3. 2. 5(d) Hydrogen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	75
Fig. 3. 2. 5(e) Hydrogen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	76
Fig. 3. 2. 5(f) Hydrogen Plugging Temperatures in RECT- 2 April 4 - 26, 1984	77
Fig. 3. 4. 1 抵抗式液面計出力変化推移	78
Fig. 3. 4. 2 Rect - II 試験後コールドトラップ内状況	79
Fig. 3. 4. 3 試料のサンプリング箇所及び分析結果	80
Fig. 3. 5. 1 隙間試験体解体写真	81
Fig. 4. 2. 1 History of Cold Trap Efficiency (RECT- 2) April 4 - 26, 1984	83
Fig. 4. 2. 2 History of Dissolution Rate and Mass Transfer Coefficient	84

1. はじめに

高速増殖炉の蒸気発生器でナトリウムー水反応事故が発生した場合、反応生成物($\text{NaOH}, \text{Na}_2\text{O}$ など)を系内から取除き、いかに速かに蒸気発生器を復旧し運転再開を行なうかと言う事は、プラントの経済性に関わる重要な問題である。反応生成物除去の方法としては、アルコール洗浄、蒸気洗浄、高温ナトリウムの循環法などが考えられる。これらのうち前2者を行う場合はいずれも系内健全部分からの隔離や、洗浄後今度は洗浄溶媒を除去する工程が必要となるし、その他装置の接続／切断等の作業が必要となる事が予想される。これに対し高温ナトリウムを循環して生成物を溶かしコールドトラップ(CT)で捕獲する第3の方法では、これらの作業や付属設備が必要でないため圧倒的に有利である。

原型炉「もんじゅ」でのリーク時運転法では、大リークの場合は伝熱管東部や蒸気発生器本体を再使用できるかと言う問題もあるため損傷状況の正確な把握やその後の復旧作業に時間を要するが、小・中規模のリークの場合は損傷管をプラグした後高温のナトリウムを循環させて反応生成物をコールドトラップで捕獲し速やかに運転再開を行なう事が考えられている。この大リークと小・中リークの境界としてはリーク水量50kgが一応の目安とされている。しかしながら従来よりCTは系内の微量不純物の捕獲を目的として設計されており、大量の反応生成物の短期間捕獲に適用できるかどうかは未知である。この種の過去の研究としてはGEのR. K. Anand¹⁾らがまとめており、Fermi炉の蒸気発生器事故で77kgの水リークによって生じた反応生成物を42日間の純化運転で除去した経験が紹介されている。AnandらはFermi炉, HNPF(Hallam Nuclear Power Facility), ETEC等での経験を基にナトリウムー水反応生成物除去用CTの設計を試みている。その中で、CT閉塞防止の対策として充填物を入れないメッシュレスCTの提案を行なっている。メッシュレスCTについてはL. Goodman²⁾が実験を行なって大きな濃度勾配を付けても閉塞しにくい事を示している。

1978年3月、動燃の蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT-3)を用いて、反応生成物除去試験RECT-I(Removal Test of Sodium-Water Reaction Products by Cold Trap)を実施した^{3), 4)}。これはRun 6注水試験によって生じた反応生成物の一部を2次系内に残し、高温のナトリウムを循環させてCTで捕獲できるかどうかを実証するための試験であった。CTはセトリング・チェンバを有するメッシュ型のものであった。このRECT-I試験では18日を掛けて生成物除去に成功し運転を終了したが、純化の進展と共に生じるCTの閉塞と言う問題点を明らかにした。また流れの存在しないデッド・エンド部に滞留する生成物の除去も難しい事が明らかとなった。

RECT-I試験では初めての試みと言う事で反応生成物量を抑えたため、捕獲した不純物量はリーク水量に換算して2.7kgであった。次にRECT-Iの成果を踏まえて、生成物量を上記の目安値(水-50kg)に相当する量に増やすと言う具体性の強い第2回試験が計画された。これが本書で述

べる RECT-II 試験である。RECT-II では RECT-I で閉塞の生じた経験からメッシュレス CT を採用した。RECT-II 試験の目的は、次の項目を明らかにすることにある。

- i) 約50kgの注水によって生じた反応生成物の純化は可能か。
 - ii) メッシュレス・コールドトラップの採用によって純化能率は高まるか。（純化日数が短縮されるか）
 - iii) 構造物の隙間に侵入した反応生成物の除去は可能か。
 - iv) 純化能率（または純化時間）を支配する決定的因子は何か。
- また、できるなら
- v) 反応生成物の Na 中物質移動係数
 - vi) 反応生成物除去用 CT の設計に反映できる何らかの提言

を得る事も期待する。

RECT-II 試験は、SWAT-3 Run 18 で生じた反応生成物を用いて 1984 年 4 月 4 日～26 日の 23 日をかけて実施された。以下、第 2 章で試験運転の概要、第 3 章でその結果を述べた後、第 4 章で若干の考察を加える。

2. 試験運転の概要

2.1 運転基法要領

2.1.1 運転日数の決定

実際のナトリウム－水反応事故の場合、反応生成物純化運転にどの程度の日数が許されるかについては、特に参考となるような数字は見当らない。大リーグの場合は、SG内部構造物の完全交換と言うような事も考えられるので、時間的余裕はかなりあると考えて良いが、小・中リーグの場合は恐らく伝熱管プラグ後、再起動までに間に合わせると言う形になるので、時間的には必ずしも余裕はない。いずれにせよ短かい程良い事は言うまでもない。R.K. Anand ら⁽¹⁾は、45kgの水がリークした中リーグの場合を想定して、14日の運転日数が最低必要であるとしている。これらの数字を参考にして、今回のRECT-II試験では、約50kgの水を注入後、3～4週間を目処に純化を行なう事にした。（しかしながら、後述するように注水試直後の高温ドレンにより、実際に系内に残った生成物量はもっと少なかった。）

2.1.2 メッシュレス・コールドトラップの採用

運転日数はCTの不純物捕獲能力と反応生成物の溶解率に依存するが、ナトリウム中の不純物濃度変化は次式で表わされる。

$$\frac{dC}{dt} = -(C-S) \frac{E \cdot F}{M} + \frac{Q}{M} \quad (2.1)$$

但し、 C：不純物濃度 [-]

S：CT 温度に対応する飽和濃度 [-]

E：CT 効率 [-]

F：CT 流量 [kg/sec]

M：系内全ナトリウム質量 [kg]

Q：溶解率 [kg/sec]

従って純化能力を高めるためには、① メッシュ等によりCT効率Eを上げる、② CT温度を下げて、Sを小さくする、③ CT流量Fを上げる、等の方法が考えられる。しかし、メッシュ型CTの場合、確かに効率は高いが、温度差を付けるとすぐにメッシュ部の不純物による閉塞が生じるため、あまりCT温度が下げられず、必ずしも全体としての能率は良くないのはRECT-Iでも経験したとおりである。またCT流量Fを上げると効率Eが低下するため、その効果は一律でなく最適値を選ばねばならない。以上の点を考慮して、今回のRECT-IIではメッシュレス・コールドトラップを採用する事とした。これは、このタイプが閉塞に強く、多少効率を犠牲にしても、温度差を大きく付けられる事でむしろ有利であると判断されたため

である。但し、メッシュを取除いた事による効率低下を補う意味から、CT 内流路を狭めるため内筒下端にスカート部を設けた。（2.2 試験装置参照）

2.1.3 基本的運転条件

2.1.1で運転日数を3～4週間と決めたが、果してSWAT-3の純化系にそれだけの能力があるかどうかの判断を早急に行なわねばならない。Run18注水試験で注入された水の量は約50kg kgであるが、その際発生した反応生成物を3週間で除去するには、どのような条件が最低限満たせなければならないか。

ナトリウム－水反応式としては次の2つが重要である。



酸素は、(1)、(2)いずれの場合も水1 mol = 18 g に対して16 g がナトリウム中に不純物として残留する。水素は(1)、(2)の反応割合に応じて1 mol当たり0～1 g が反応生成物の形で残るが、発生水素ガスが放出系に抜けるまでにナトリウム中に溶解する可能性等も考慮しなければならない。いわゆる水→水素変換モル比が0.35～0.60である事から、水1 mol当たり最大約1.3 g がナトリウム中に残留すると考えて良い。

不純物量と運転時間との関係は次式で表わす事ができる。

$$M_A = (C_{Ai} - C_{Ao}) \cdot F_{CT} \cdot T \quad (2.2)$$

但し、 M_A : ナトリウム中の不純物量 [g]

C_i : CT 入口不純物濃度 [ppm]

C_o : CT 出口不純物濃度 [ppm]

F_{CT} : CT 流量 [ton/Hr] = 1.8 ton/Hr

T : 運転時間 [Hr] = 21×24 Hr
(3週間)

添字 A : $\begin{cases} \text{H} : \text{水素} \\ \text{O} : \text{酸素} \end{cases}$

CT 入口不純物濃度やメインループの不純物濃度はメインのナトリウム温度に強く依存しているので必要に応じて適当に加減する事ができる。但し、メイン・ナトリウム温度がNaOHの融点である320°Cに近づくと反応生成物の融解のために不純物のナトリウム中への溶解率が飛躍的に高まり、ナトリウム系全域への不純物の拡散を促す恐れもあるので、融点までに多少余裕を見る必要がある。またナトリウム温度をあまり下げると溶解率が低下して入口プラグ温度を一定値以上に維持できなくなる。いずれにせよ、とり合えず入口プラグ温度としては320°Cへの余裕を見て280°Cを選択する。すると、

$$\text{酸素} : 50 \times 10^3 \times \frac{16}{18} = (65.2 - C_{oUT}) \times 1.8 \times (21 \times 24) \text{ より } C_{oUT} = 16.2 \text{ ppm}$$

$$\text{水素: } 50 \times 10^3 \times \frac{1.3}{18} = (7.23 - C_{\text{out}}) \times 1.8 \times (21 \times 24) \text{ より } C_{\text{out}} = 3.25 \text{ ppm}$$

よって上記濃度に対応する CT 出口プラグ温度は酸素、水素に対してそれぞれ 213°C 及び 245°C となる。従って運転条件としてはメイン・プラグ温度 280°C に対して CT 出口・プラグ温度を 213°C 以下にする必要がある。実際には余裕を見て 200°C 程度まで下げれば充分であろう。しかし、このプラグ温度の入口: 280°C、出口: 200°C の関係は絶対的な意味ではなく、出入口濃度差と CT 流量の積が下記の

$$Q = (C_{\text{in}} - C_{\text{out}}) \cdot F_{\text{CT}} > \frac{M}{T} = 88 \approx 10^2 [\text{g}/\text{Hr}] \quad (2.3)$$

ように酸素換算で約 100 [g/Hr] 以上になるようにメイン・ナトリウム温度と CT 温度を設定してやれば良い。また純化が進行して反応生成物面積が減少すると入口・プラグ温度も低下しだす事が予想されるが、その際はメイン・ナトリウム温度を上げる事によって元の値に保つ事はできる。

更に上記評価では CT 流量は一定と置いたが CT 流量を変化させながら CT 出入口濃度差との積 Q が最大となる点を見出す事によって更に効率の良い運転が可能となる。

2.1.4 運転法基本計画

上述の基本方針に基づき、次のように 3 つのフェーズからなる運転計画を立てた。

Phase I 初期値設定 (4, 5 日)

Step 1. CT 温度を 300°C → 200°C 以下に下げ出口・プラグ温度が約 200°C か? → 200°C 以上なら CT 温度を下げる。

Step 2. 入口・プラグ温度が 280°C 以上か? → 280°C 以下ならループ温度を上げる。

Step 3. CT 流量 F_{201} を変化させ $Q = (C_{\text{in}} - C_{\text{out}}) \times F$ が最大となる流量を選ぶ。ただし $Q < 100 \text{ g}/\text{Hr}$ ならばメイン温度を更に上げる。

Phase II 定常純化運転 (3 週間)

Phase I で決めた条件で定常純化運転に移る。運転中入口・プラグ温度の低下が始まり 280°C を割ったならループ温度をその都度上げる。

Phase III 高純度達成運転 (2, 3 日)

ループ温度を 480°C まで上げても入口・プラグ温度が 280°C まで上がらなくなったら系内の生成物はほぼ除去されたものと見なし Na 純度を上げる運転に移行する。

Step 1. 入口・プラグ温度が 250°C まで低下するのを待つ。

Step 2. CT 温度を 200°C → 150°C に下げて閉塞が生じない事の確認。

Step 3. 入口・プラグ温度が 220°C に達したら全運転終了。

2.2 試験装置

2.2.1 系統概要

試験装置のフローシートを Fig. 2.2.1 に示す。

RECT-II 試験装置はコールドトラップの改造及び各試験体、測定装置の取付けを行なった既設の蒸気発生器安全性総合試験装置（SWAT-3）を使用した。

装置のナトリウム循環ループは主循環系と純化系の 2 系統があり、各系内のナトリウム容積は主循環系が 7 m³、純化系が 1.4 m³ の計 8.4 m³ になっている。

主循環系は反応容器、模擬過熱器、模擬中間熱交換器、ナトリウムポンプ及びナトリウム加熱器等で構成され、2B あるいは 8B 配管で接続されている。

又、純化系はエコノマイザ、コールドトラップ等で構成され主循環系より分岐された 2B 配管で接続されている。

各系内を流れるナトリウムの経路は Fig. 2.2.1 に示す通りで、純化系を流れるナトリウムは、主循環系のナトリウムポンプ出口より分流され純化系を通ってナトリウムポンプ入口で再び主循環系に合流する流れとなる。

この純化系ナトリウム流量制御は主循環系に合流する手前の純化系配管に配置された電動弁（V-202）の開度によって調整される。本装置純化系はコールドトラップ手前にエコノマイザを有しているが、RECT-II 試験のナトリウム純化運転中は用いなかった。これはナトリウムのプラグ温度がエコノマイザ出口温度より高い段階において、コールドトラップで冷却されたナトリウムをエコノマイザを使用して熱交換させた場合、エコノマイザ内で不純物が析出し、配管内で閉塞する可能性があったため、主循環系より分流され純化系に流れたナトリウムはエコノマイザをバイパスして直接コールドトラップに入る経路にした。

2.2.2 コールドトラップ

コールドトラップは Fig. 2.2.2 に示す縦型二重円筒容器、強制循環空気冷却方式になっており、底部にセトリング・チャンバを有している。

コールドトラップの冷却は外部に設置されたターボファン（風量 43 m³/min）を使用し、空気ダクトの下部から上部へ空気を循環させ、制御はターボファン出口の空気ダクトに設置されている電動ダンパの開度をコールドトラップ内下部ナトリウム温度（T-214）と対応させながら増減し、風量を調整することで行なっている。

この既設コールドトラップは内部の約 400 ℥ 容積部（696 mm^φ × 1032 mmH）にラミネート加工した平金網を重ね合わせたメッシュを有していたが RECT-II 試験の純化能力を上げるために内部のメッシュを全て撤去し、その代わり内部を流れるナトリウムの圧損を増すために 760^φ × 720^φ × 200 mmH のレジューサを取付けた。

本試験で用いたコールドトラップの主な仕様を Table 2.2.1 にまとめる。

2.2.3 反応容器

反応容器内には、事前に実施した Run18 破損伝播試験時のナトリウム－水反応によって生じた反応生成物を堆積させるため仕切板を設置した。

仕切板の構造は Fig.2.2.3 に示す通りで、容積は Run18 試験時に生じた反応生成物を収納出来る様に約 116ℓ になっている。

又、仕切板に堆積している反応生成物の量は Run18 試験後において系内のナトリウムをドレンさせた後、反応容器下部の予備孔フランジを開放し内部を目視によって観察することで確認出来る様にした。

Table 2.2.1 コールドトラップの主な仕様

項 目	要 目
型 式	縦型二重円筒容器・強制循環空気冷却式
設 計 壓 力	5 kg/cm ² G
設 計 溫 度	535°C
内 部 流 体 （定 格）	流 体 ナトリウム
	入 口 温 度 180 °C * ¹
	出 口 温 度 160 °C * ¹
	最下部温度 135 °C * ¹
	流 量 1800 kg/h
外 部 流 体 （定 格）	流 体 空 気
	入 口 温 度 20 °C
	出 口 温 度 39.1 °C
	流 量 2500 kg/h
概 略 尺 法	820 ^φ × 2660 H (mm)
主 要 部 材 質	JIS SUS 304
メッシュ部 形 状	696 ^φ × 1032 H (mm) * ²
“ 重 量	80 kg (充填率 約 0.2 kg/ℓ) * ²
“ 材 質	JIS SUS 304 30 mesh (0.3 ^φ) * ²
フ イ ン 形 状	縦型フィン
“ 長 さ	1300 mm (有効伝熱部)
“ 高 さ	30 mm
“ 厚 さ	3 mm
“ 枚 数	40列(1列 10枚)
ナトリウム容積	約 1150 kg
内 胴 内 滞 留 時 間	15 min
全 捕 集 酸 素 量	50 kg (目標値)

*1: 最終純化状態を示す。

*2: RECT-II試験では、使用せず。

2.3 計測系

2.3.1 計測系概要

本試験の目的上、最も重要な物理量はナトリウム中不純物濃度である。とりわけ、メインループ及び CT 出口での不純物濃度挙動を正確に知る必要がある。また主たる不純物は酸素と水素でありこの両者を区別する必要もある。このため、下記のような計測器類を新設して使用した。

i) プラギング計

ii) サンプリング系

更に、重要な試験項目として、クレヴィス部やスタグナント部に侵入した反応生成物が他の Na の流れのある部分の生成物と同様に除去できるかと言う事がある。このため、

iii) 隙間試験体

を製作して EV 内に設置した。

生成物除去状況と同様、CT 内への不純物蓄積状況も知る必要がある。もっとも、このための計測器としては、 γ 線、超音波等いくつか検討したものの現実問題としては種々問題があり、結局

iv) 抵抗式レベル計

を用いる事となった。しかし、このレベル計にしても、適用性等未知の部分が多いため、何回かの予備試験を行なった。

このほか上記各データと関連上、CT 内、EV 内に

v) 熱電対

を設置し、温度分布を測定した。

2.3.2 プラギング計

プラギング計は 1 基しか設置されていないので、メイン／CT 出口プラグ温度をそれぞれ測定するために、弁 V151／153 の切り換えを頻繁に行う事とした。このため、同時刻での両者の温度を得る事は出来ない構造と言えるが、プラグ温度自体そう急激に変化する訳ではないので実用上は問題ないと考えた。

本試験で使用したのは、MAPI 社製の PL-CA 型連続式プラギング計である。Fig. 2.3.1 に同プラギング計の系統図を示す。本系統に流入したナトリウムは電磁ポンプにより駆動された後、一撃冷却部とバイパス部とに別れ再び冷却部下方で合流して本流に復帰する。バイパス部にはオリフィスがあって流量配分を加減している。冷却部ではプロワによる強制空気冷却を行なった後、下流部のプラギング・オリフィスを通過させる。プロワには自動制御ダンパが設置されおり、プラギングオリフィス流量 F_1 とポンプ出口流量 F_2 の比をチェックして PID 制御を行っている。Table 2.3.1 に主な仕様を示す。

本プラギング計には通常行なわれている振動式測定法のほかに、振幅を次第に狭めて行き最終的には溶解と析出とが安定に平衡に達するような1点に落ち着く事によってプラグ温度を連続的に表示する自動測定法も可能な設計となっている。しかし同表中プラグ温度の自動測定法の最高温度が250°Cとなっているように、本試験のような低純度のナトリウム（プラグ温度が約300°C）の場合はこの自動測定法は容易ではなく、通常の振動法に頼らざるを得ない。そればかりか、一担析出が始ってからオリフィス閉塞に至るまでの時間が短いため、しばしば完全閉塞に陥り、連続的な振動による測定さえも難しい状況になった。従ってプラグ温度の測定に関して次のような点に心掛けた。

振動法による測定でもいくつかの方法が考えられ、たとえばFig. 2.3.2のタイプA, Bのような波形の違いも見られる。Aは、オリフィス流量をほぼ完全に100%まで復帰させるものである。これに対しBは溶解の途中で流量が100%までもどらいうちに再び析出を始めるものである。Aの場合は、析出核が一度消滅するため次の析出が始まるまでに一定の過冷却が必要となり、従ってプラグ温度がアンプラグ温度より10~20°C低く現われてしまう。これに対し、Bタイプの場合は、プラグ温度とアンプラグ温度との間には1~2°C以下の差しかない。従って本来なら出来る限りBタイプの波形が現われるよう流量下限警報を低く選ぶべきだが、実際プラグ温度が300°Cのような低純度の場合、Bタイプの測定ではしばしば完全閉塞に至るため連続的な測定は決して容易ではなかった。また、プラグ温度は上記波形に強く依存するが、アンプラグ温度の波形依存性は小さく、Bタイプのプラグ温度との温度差も小さいので、測定の容易さと言う見地からAタイプのアンプラグ温度をナトリウム中不純物飽和温度として採用した。運転中ときおりBタイプの波形を出してプラグ／アンプラグ温度を求めて見たが、Aタイプのアンプラグ温度との差が2~4°C以下である事が確認できた。以下本書で用いるプラグ温度はAタイプのアンプラグ温度を意味するものとする。

Table 2.3.1 本試験で使用したプラギング計の主な仕様

(1) 型 名	PL-CA型
(2) 型 式	空冷式自動連続指示型
(3) 測定範囲(自動測定)*	プラギング温度 250°C ~ 120°C
(4) 入口ナトリウム温度	300°C ~ 500°C
(5) ナトリウム流量	約 3 ℥ / min
(6) 設計圧力及び温度	-1 ~ 5 kg/cm² g, 500 °C
(7) 使用時雰囲気温度及び湿度	最高 40°C および最大 80%
(8) Na 系材質	SUS 304
(9) 外形寸法(概略)	
機器パネル	巾 1,000 × 高さ 1,700 × 奥行 600 mm
操作パネル	巾 500 × 高さ 2,300 × 奥行 1,000 mm
(10) 接続ノズル	入口および出口ノズル各 1 本
	SUS 304 TP, 1/2 B SCH 20 S
(11) 電源容量	
操作パネル電源	3 相 200V 5 KVA
	単相 100V 0.5 KVA
予熱用電源	2 ブロック
	単相 200V 約 1 KW

* 本試験では自動測定モードではなく振動モードを用いた。

2.3.3 Na サンプリング系

(1) Na サンプリング系の概要

RECT-II 試験時に主循環系の Na をサンプリングするため純化系ループに Na サンプリングラインを付設した。

Na サンプリングラインは, Fig. 2.3.3 の通り V 211 ラインのバイパスラインとし, T 管継手で接続されており, チューブ, バルブ (Na 入口側に SV-1, SV-2, 出口側に SV-3, SV-4 の手動弁), レジューサで構成されている。

サンプリング用チューブは, Fig. 2.3.4 の通り SUS 304 12.7 ϕ , 1.0 t, 800 ℓ で容易に取付け, 取外しが出来る構造になっている。

(2) サンプリング方法

バイパスフロースルー法

バイパス流路に金属性の細いチューブをスウェジロック等の取付け取外しの容易な装置を用いて取付け, この管の中にしばらく Na を流し, 十分 Na で管内を洗浄した後, 両端のバルブを閉じて, この管を冷却し, 両端の締具をゆるめてサンプリングチューブを取り外し, サンプリングする方法である。

2.3.4 隙間試験体及び NaOH 試験体

(1) 隙間試験体

組立図及び取付位置を Fig. 2.3.5.~6 に示す。

隙間試験体は, 4 枚の平板を重ねたもので各板の間に 3 mm, 0.5 mm, 0.2 mm 及び 0.1 mm の隙間をつくりそこへ堆積した反応生成物あるいは NaOH がナトリウム純化運転によってどれだけナトリウム中へ析出するかを調べるものである。

① No. 1 試験体

RUN-18 破損伝播試験の Na-水反応時に生じた反応生成物が 3 mm ~ 0.1 mm の各隙間にどれだけ堆積するかを確かめるため, RUN-18 注水試験前に反応容器内下部に設置し注水試験後に取出し内部の反応生成物堆積状態を確認した。

② No. 2 ~ No. 6 試験体

隙間に堆積した反応生成物が RECT-II 試験のナトリウム純化運転中にどれだけナトリウム中に析出するかを確認するため, No. 1 試験体と同様に RUN-18 試験前に反応容器内下部に設置し, RECT-II 試験後に取出し, 内部を観察した。

③ No. 7 ~ No. 10 試験体

3 mm ~ 0.1 mm の各隙間に純粋な NaOH を入れ, RECT-II 試験前に反応容器内部に設置したもので, ナトリウム純化運転中にどれだけナトリウム中に NaOH が析出したかを RECT-II 試験後に取出し, 内部を観察することによって確認した。

No. 7, No. 8 試験体はNo. 1～No. 6 試験体と同様に反応容器下部に設置し, No. 9, No.10試験体は容器上部のそれぞれ FL 5866 mm, FL 5716 mmに設置した。

さらにNo. 1～No. 9 試験体は隙間開口部分が上部になる様に取付けられているのに対して No.10試験体は隙間開口部分を横向きに取付け, ナトリウムの流れ方向に開口部分がある場合と 90° 横向きに開口部分がある場合との比較を行なった。

(2) NaOH 試験体

RECT-II 試験のナトリウム純化運転中において純粋な NaOH がナトリウム中にどれだけ析出するかを調べるために約 0.35 ℥ の NaOH を容器に入れ反応容器上部の FL 5300 mm の位置に設置した。取付位置を Fig. 2. 3. 6 に示す。

2.3.5 コールドトラップ及び純化系配管内熱電対配置

ナトリウム純化運転中において、主循環系より分流され純化系に流れるナトリウムの配管中あるいはコールドトラップ内部での温度分布を調べるために、熱電対を配置した。

取付位置を Fig. 2. 3. 7 に示す。

コールドトラップ内に配置された熱電対のうち T 211～T 215 は従来よりの既設装置に取付けられていたものであり、容器内胴の FL 1300 mm～FL 3000 mm の間に設置されている。

又、T 2003～T 2016 は RECT-II 試験のために新たに設置したものでナトリウム入口部、外胴－内胴間の流路部、容器下部、内胴部及びナトリウム出口部にそれぞれ設置した。

T 2019 及び T 2020 はコールドトラップ冷却空気ダクトの入口、出口に設置し冷却空気の温度変化を調べた。

純化系配管内を流れるナトリウム温度は、コールドトラップ出入口配管に T 2002 及び T 2017、エコノマイザ出入口配管に T 2001 及び T 2018 をそれぞれ設置して調べた。

2.3.6 抵抗式液面計

(1) 抵抗式液面計の概要

RECT-II 試験で使用した抵抗式液面計は、コールドトラップでトラップされた反応生成物量を測定することを目的とした液面計であり $500 \ell \times 34.0 \phi \times 3.0 \text{t}$ SUS 材のチューブ内部に 20 本の測定用タップがある。

タップは液面計先端より 10 mm ピッチで取付けられ、タップに接続されている MI ケーブルは、3ヶ所のスリーブから、それぞれ外部に取出されている。

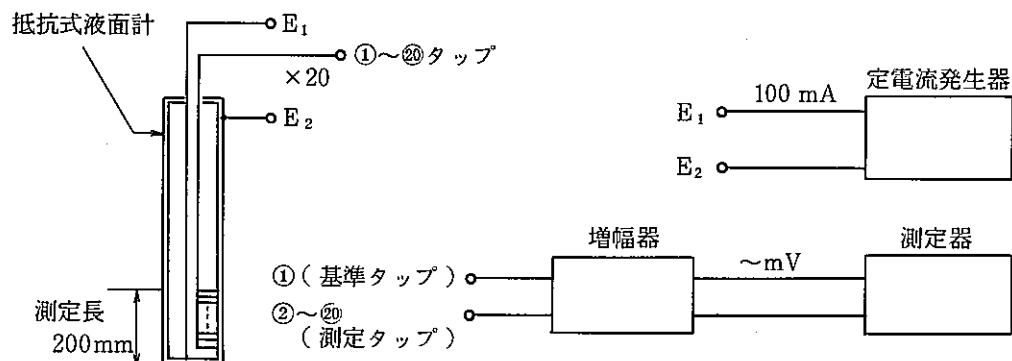
本抵抗式液面計は RECT-II の試験条件を満足するよう、設計温度 400°C、設計圧力 $5 \text{ kg} / \text{cm}^2$ (外圧) となっている。

抵抗式液面計の詳細図を Fig. 2. 3. 8 に示す。

(2) 測定方法及び測定原理

(1) 測定方法

反応生成物量を測定した抵抗式液面計の測定回路構成は、下図の通りである。



$E_1 - E_2$ には、100 mA の定電流を印加する。

①～⑯タップのうち、①タップ（抵抗式液面計の先端）を基準とし、②～⑯タップまでの起電力の有無を順に測定する。

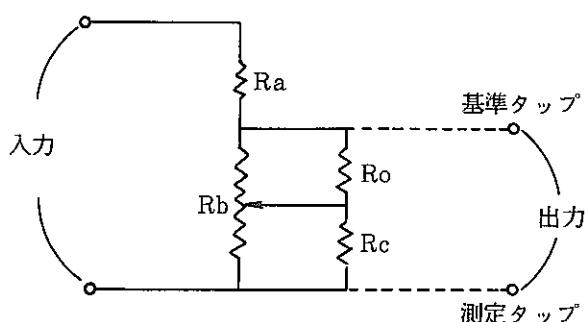
測定データは、 $E_1 - E_2$ に電流を印加しない時のデータと比較し、各タップ間に発生する起電力の有無により、反応生成物液面を判断する。

(2) 測定原理

抵抗式液面計は、チューブの電気抵抗がナトリウムに浸された部分だけ電気的に短絡されて抵抗を減じることを利用する液面計であるがRECT-IIでは、コールドトラップに蓄積される反応生成物量を測定する

ことが目的であるため、等価回路は左図のようになる。

ただし、通常抵抗式液面計には Na 温度が変わると指示が変わるため、1 次側に補償抵抗を入れるが、本抵抗式液面計は温度補償をしていない。



Ra : 電線等の抵抗 (Ω)

Rb : 抵抗式液面計チューブ（保護管）の抵抗 (Ω)

Rc : 反応生成物の抵抗 (Ω)

Ro : ナトリウムの抵抗 (Ω)

Rb, Rc, Ro の抵抗値の関係は、

$$Rc > Rb > Ro$$

であるから、基準タップと測定タップ間に反応生成物が蓄積していない場合、電流は全て

R_o を流れ出力変化は出ない。

もし、反応生成物の蓄積がある場合、電流は Rb 中を流れるため、基準タップと測定タップ間に出力変化が出る。

(RECT-II 試験では、この出力変化があったタップ(位置)まで反応生成物が蓄積していると判断する。)

(3) 抵抗式液面計のコールドトラップの据付け

抵抗式液面計は Fig. 2.3.9 の通り、コールドトラップ底部に据付けた。

抵抗式液面計寸法とコールドトラップ内容積の関係図を Fig. 2.3.10 に示す。

2.4 RUN-18 注水試験

RECT-II試験前に実施したRun18試験は、一連の伝熱管破損伝播試験であるが、系内に反応生成物が残留している状態でのナトリウムの純化がコールドトラップによって可能であることをRECT-II試験によって確かめるために、RUN-18試験のナトリウム-水反応によって生じた反応生成物は反応容器内に堆積する様にした。以下にこのRun18注水試験について簡単に述べる。

2.4.1 試験条件

試験条件のまとめをTable 2.4.1にまとめる。

Run18試験は過熱器ヘリカル下部を模擬した条件で、SUS 321の直管56本を模擬伝熱管とし、1本の模擬伝熱管の 0.5 mm^ϕ リークノズルから注水を行ない隣接する伝熱管の破損伝播状態を確認した。

2.4.2 注水量の算出

試験時の飽和蒸気を供給する水加熱器から反応容器内の注水伝熱管及び模擬伝熱管までの注水ラインフローシートをFig. 2.4.1に示す。

反応容器内のナトリウム中に注水伝熱管の 0.5 mm^ϕ リークノズルより注水された量、さらに模擬伝熱管の破損伝播した開口部より注水された量は、水加熱器に設置されている差圧式液面計と注水配管中に設置されているターピン流量計によって測定した。

ターピン流量計は測定範囲の異なる2台を設置し、注水初期は注水伝熱管からの注水量のみであるため小流量の流量計を使用し、模擬伝熱管の破損伝播が進行し、注水量が増加した時点で大流量の流量計に切換える予定であったが、小流量の流量計測定範囲内の注水率で注水を行なっているうちに、予定注水量の50kgに達したため、流量計の切換えは行なわず注水を終了した。

注水試験中の注水量及び水加熱器圧力値をFig. 2.4.2に示す。

注水開始より約71分間までは、破損伝播が発生せず、流量計の測定範囲以下の注水率であったが、その後破損伝播が発生し注水率が増加し、約1分間ターピン流量計の測定範囲内の注水率で注水を行なった時点で注水予定量の50kgに達したため注水を終了した。

よって注水量はターピン流量計が全注水時間中の一部分でしか作動しなかったため、水加熱器の液面計より求めた。

但し、注水停止操作後に万一弁座のリークが生じた場合でもナトリウム中には蒸気が注入されない様にするため注水停止直後に止弁の上流配管に封じ込められている蒸気は大気へ放出させており、この大気放出させている蒸気量がFig. 2.4.2に示した注水量に含まれているため、ナトリウム中に注水された量は、次の様になる。

$$\text{ナトリウム中注水量} = \text{総注水量} - \text{大気放出蒸気量}$$

- ・総注水量はFig.2.4.2の通り容積で88.7(ℓ)であったが、注水初期と注水停止直後の飽和蒸気条件が変化しているため平均した飽和蒸気の比容積から求めると

$$\frac{88.7 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{)}}{1.553 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{kg}\text{)}} = 57.1 \text{ (kg)}$$

- ・大気放出蒸気量は注水止弁上流配管の内容積の14.7(ℓ)と、その時点での飽和蒸気の比容積から求めると

$$\frac{14.7 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{)}}{1.4954 \times 10^{-3} \text{ (m}^3/\text{kg}\text{)}} = 9.8 \text{ (kg)}$$

よってナトリウム中注水量は

$$57.1 \text{ (kg)} - 9.8 \text{ (kg)} = 47.3 \text{ (kg)}$$

となる。

2.4.3 注水後のナトリウム・ドレン

ナトリウム-水反応によって生成した反応生成物の分布状況を観察し、2.3.4の隙間試験体及びNaOH試験体を設置するために、反応容器内のナトリウムドレンを反応生成物の凝固温度以下まで容器内のナトリウムを降温させた後に実施した。注水試験時のナトリウム温度は試験条件の465°Cまで昇温されており、約3日間容器内に放置し、自然冷却で305°Cになった時点でダンプタンクへのナトリウムドレンを実施した。

2.4.4 内部観察結果

反応容器内ナトリウムドレン後の容器内に堆積している反応生成物の量は、容器下部の予備孔フランジを開放し、設置されている仕切板上を目視によって観察し反応生成物の堆積高さ等から調べた。

仕切板上には平均して約15mmの高さで反応生成物が堆積し、ナトリウムドレンのため開孔しているセンターパイプ及び仕切板上部に設置した隙間試験体にも多少の反応生成物が付着している程度で、目視によって確認出来た反応生成物の量は全体で約30ℓ前後と思われる。

Table 2.4.1 SWAT-3 Run 18 試験条件

実 施 年 月 日		1984. 3. 15	
内部構造物型式	反 応 容 器	蒸 発 器	
	試 験 体 型 式	直管 56 本での管東部模擬	
	伝 热 管 尺 度	$31.8^\phi \times 3.5^t \times 700^l$	
	伝 热 管 材 質	SUS321 HTB	
	注 水 点 レ ベ ル	FL4403	
注 水 系 条 件	注 水 機 構 型 式	ピストン式	
	初期リーグ・ノズル径	0.5 mm ϕ	
	水 加 热 器 压 力 (atg)	141 ~ 115	
	水 加 热 器 温 度 (°C)	355 ~ 340	
	注 水 配 管 温 度 (°C)	340 ~ 305	
	初期注水率 (g/sec)	14.6	
	注 水 時 間 (sec)	4680	
	注 水 量 (kg)	42.5	
ナトリウム系条件	ナトリウム温度 (°C)	465	
	ナトリウム流动	静 止	
	EV・SH カバーガス圧(atg)	0.5	
	使 用 カ バ 一 ガ ス	アルゴン	
放 出 系 条 件	ラ板 ブ設 チ定 い圧	RD601 (at)	3.0 ± 0.23
		RD602 (at)	3.0 ± 0.23
		RD603 (at)	1.5 ± 0.09
	放出系配管温度 (°C)		290 ~ 350
	收 納 容 器 温 度 (°C)		420
	放 出 系 圧 力 (atg)		0.5

3. 運転試験結果

3.1 運転概要

当初の予定では 2.1 で説明したように全体を 3 つのフェーズに分けて運転する予定であったが、実際の運転は全く予想外の展開となり図 2.1.1 の予定から大きくはずれてしまった。その理由は、CT 内で不純物による閉塞が頻繁に発生したためである。Fig. 3.1.1 に 23 日間の純化運転期間におけるメイン・ナトリウム温度 T_{111} , CT 温度 T_{201} , メイン・ナトリウムのプラグ温度 T_∞ , CT 出口のプラグ温度 T_o , 及び CT 流量 F_{ct} の挙動を示す。

1984 年 4 月 4 日開始された RECT II 試験運転は、純化開始 10 時間後に早くも CT 流量低下が生じた。その後数日にわたって閉塞原因を探る運転を行なった結果、CT アニュラス部のノズル部付近に不純物が析出したためであろうと結論されたため、第 6 日目に CT を隔離して昇温し閉塞物を CT 底部（セトリング・チェンバ）に落とす方法を探った。この方法により CT 流量が回復したので、最適流量を求めるためのステップ 3 の試験を行ないフェーズ I を終了した。

その後も酸素量にして約 1 kg を捕獲する度に CT 閉塞が生じたためその都度 CT の隔離 - 昇温サイクルを掛けた。このように閉塞が頻発したためフェーズ II の運転は初めの予定からは大きく変わったものとなったが、それでも第 5 回目の CT 昇温サイクルを掛けた後の純化運転（第 13 日目）頃からメインのプラグ温度がナトリウム温度から離れ始めた。更に第 6 回目の CT 隔離時には遂にプラグ温度の上昇も見られなくなったので、未溶解反応生成物は無くなったものと判断しフェーズ II を終了した。

フェーズ III は最終純化運転で、ナトリウム純度を上げる事を目的としている。第 21 日目に再び CT が閉塞気味になって来たので、CT 昇温サイクルを掛け、次の純化運転でメインプラグ温度 187°C (酸素濃度 9 ppm) にまで到達したのでフェーズ III の目標を達成して全運転工程を終了した。

3.2 プラグ温度挙動と捕獲不純物量の評価

3.2.1 不純物質の特定

本試験でのナトリウム中不純物としてはナトリウム-水反応生成物による酸素及び水素が圧倒的であり、他は無視しても良い。問題はプラグ温度で示される飽和温度がそのいずれに当たるかと言う事である。全試験期間の約 $1/3$ にいわゆるダブル・ブレーク現象が見られた。一般に受入れられている解釈に従えば、第1プラグは酸素に第2プラグは水素によって生じていると考えられる。第1プラグ温度 T_{PL1} と第2プラグ温度 T_{PL2} との温度差 $\Delta T (= T_{PL1} - T_{PL2})$ は6~17°Cの範囲であるが、中でも10~12°Cが一般的であった。Fig. 3.2.1(a)に本試験で測定したダブル・ブレークの典型的な1例を示す。同図からは水素及び酸素の飽和温度をそれぞれ284°C及び294°Cと読み取る事ができる。

ダブル・ブレークが明確に現れている場合は上記のように両者の不純物濃度が推定可能だが、不明瞭な場合や全く現われていない場合は別の方法によらねばならない。Fig. 3.2.1(b)はダブルブレークらしき物は認められるがプラグ時刻が重なっているため第1プラグ温度が判らないもの、またFig. 3.2.1(c)はダブル・ブレークが全く見られないものの測定例である。まずダブル・ブレークの明瞭な記録よりプラグ時の流量降下率 $\frac{\Delta F}{\Delta t}$ を読み取り、未飽和温度 $\Delta T_{Sub} = T_{Main} - T_{\infty}$ に対してプロットしてみた。この結果がFig. 3.2.2である。やや右下からの傾向が見られるものの期待していたような未飽和度との明確な相関は得られなかったが、第1プラグと第2プラグの流量降下率の差は歴然である。この結果からシングル・ブレークの場合も流量降下率を基に1[%/min]程度なら酸素によるプラグ、10[%/min]程度なら水素によるものと判断した。

3.2.2 純化式のモデル

前項で述べたように、一応水素/酸素の飽和温度は推定できるか全時間について両者の飽和温度が得られる訳ではない。従って、純化式をモデル化して数値計算により飽和温度を求め、それを適切なパラメータを用いる事によって断続的に得られている測定値と一致させるよう努めた。

Fig. 3.2.3にRECT-IIにおける純化挙動を解析するためのモデルを示す。メイン・ナトリウム中の不純物濃度変化はCTでの析出量とメインループでの反応生成物の溶解量とで決まる。即ち、

$$M \frac{dC_{\infty}}{dt} = -F_{ct}(C_i - C_0) + K \cdot S \cdot (C_{sat} - C_{\infty}) \quad (3.1)$$

また、CT入口とメイン・ナトリウム中の不純物濃度の関係は、

$$C_i = \frac{F_{ct} \cdot C_0 + F_{\infty} \cdot C_{\infty}}{F_{ct} + F_{\infty}} \quad (3.2)$$

となる。ここで CT 内の代表点での飽和濃度と CT 出口濃度との関係を表わすために、

$$\mu = -\frac{1}{F_{CT}} \ln \left(\frac{C_i - C_o}{C_i - C_{CT}} \right) \quad (3.3)$$

なる指標を導入する。 μ の物理的意味は CT 内での析出し易さを示すもので、通常用いられる CT 効率 η とは $\eta = e^{-\mu F_{CT}}$ なる関係にある。また物質移動係数 K と反応生成物 S の積 KS は溶解率を支配しているが、適切な値を選ぶ事は難しいので、これも数値計算上のパラメータとして用いるものとする。

上記モデルに基いて純化挙動を解析するプログラムを作成した。上式中 KS (=K・S) 及び μ をパラメータとして計算結果としてのプラグ温度挙動を測定結果と一致させる事ができるはずである。簡単に言えば、 μ を振って CT 出口プラグ温度 T_i を合わせ、しかる後 KS を振ってメインプラグ温度 T_∞ を合わせる事ができる。これを 1, 2 回繰返せば実験との良い一致が得られる。このようにして測定値の無い時間域での酸素／水素の飽和温度を推定した。

上記モデルに基いて水素及び酸素の捕獲量は次式で求める事ができる。

$$M_A = \int_{t_0}^{t_i} (C_{Ai} - C_{Ao}) F_{CT} dt \quad (3.4)$$

但し $A = \begin{cases} H : \text{水素} \\ O : \text{酸素} \end{cases}$

以下の捕獲量はこの手法で算出した。

3.2.3 詳細運転経過

本節では純化運転の更に詳細な結果を酸素、及び水素のプラグ温度挙動（それぞれ Fig.3.2.4 及び 5）を基に検討する。

第 1 日 (4 / 4 / 84) [O : 141g, H : -1g]

RECT II 運転を開始する。CT 冷却はまだ行わずメイン・ナトリウム温度を $260 \rightarrow 316^\circ\text{C}$ に上げる。メインプラグ温度もほとんどナトリウム温度に付随したまま上昇する。

第 2 日 (4 / 5 / 84) [O : 2079g, H : 185g]

CT 冷却開始。CT 温度 T_{214} を 200°C まで下げる。CT 流量 F_{201} は約 2 ton/H で出口プラグ温度は 211°C 前後。CT 流量の低下始まる。このため純化を中止し CT 温度を 300°C までもどす。メイン・プラグ温度にダブル・ブレーキが現れ、飽和温度は酸素が 320°C 、水素が 310°C 程度と推定する。このプラグ温度差から単位時間当たり捕獲酸素量は、

$$Q = (C_3 - C_{211}) \times F_{201} = 229 > 100 [\text{g}/\text{H}]$$

とフェーズ II ステップ 1, 2 の要求条件を何無く満たす事を確認する。

第 3 日 (4 / 6 / 84) [O : 609g, H : 56g]

純化系を隔離し、CT を 330°C 以上まで昇温すると一時的に CT 流量が回復するが、再び純化を開始するとやはり閉塞が始まると。

- 第4日(4/7/84) [O: 450g, H: 48g]

メインナトリウム温度が約 320°C と高く、反応生成物を拡散させた恐れもあり T111 → 304°C と下げる。メインプラグ温度もナトリウム温度とほぼ同一挙動を示して低下する。

- 第5日(4/8/84) [O: 497g, H: 62g]

閉塞場所が CT 内か配管かを知るために、純化系配管を昇温するが、流量回復せず。よって閉塞は CT 内と判断。メイン・ナトリウム温度 316°C に対し、同プラグ温度 306°C と 10°C の温度差がついて来たのは、メインナトリウム温度が下がって溶解率が落ちたためと思われる。プラグ温度は水素を指しているが、ときおり酸素のものも現れる。

- 第6日(4/9/84) [O: 332g, H: 28g]

閉塞が CT 内で生じていると判断されたので、CT を一時的に隔離して 420°C まで昇温・保持後再び下げる事によって閉塞物を CT 下部(Settling Chamber)に落とす事を試る。

- 第7日(4/10/84) [O: 511g, H: 45g]

上記操作の結果 CT 流量が回復したのでフェーズ I ステップ 3 の目的である最適 CT 流量を求めるための試験を行なう。即ち流量を 2.2 → 6.9 → 4.8 ton/H と変化させ単位時間当たりの回収酸素量が最も多い流量を選択する予定であった。しかしメインと CT 出口のプラグ温度に明確な差が現れず、最適流量を求めるには至らなかった。

- 第8日(4/11/84) [O: 696g, H: 31g]

メイン・ナトリウム温度 310°C, CT 温度 280°C, CT 流量 7 ton/H なる条件で、フェーズ II の定常純化運転に移行する。しかし再び CT 流量低下始まる。プラグ温度は、入口で水素/酸素についてそれぞれ約 280/290 °C。

- 第9日(4/12/84) [O: 582g, H: 25g]

CT 温度を T214 を 300°C まで上げると CT 流量は回復するが 280°C まで下げる再び流量低下が始まる。

- 第10日(4/13/84) [O: 702g, H: 79g]

第2回目の閉塞物除去の温度サイクルを CT に掛けた後、純化再開。CT 温度を 280°C まで下げる再び流量低下が発生する。水素による出口プラグ温度は CT 温度 + 約 10°C、メインプラグ温度はナトリウム温度 - 約 10°C である。

- 第11～12日目(4/14, 15) [O: 866g, H: 111g]

3回目及び4回目の閉塞物除去用温度サイクルを掛けた後それぞれ純化運転を行なう。約 3 時間後に流量低下。

- 第13日目(4/16/84) [O: 773g, H: 110g]

第5回目の温度サイクル後純化運転に移るが、今回は11時間まで流量低下が起こらずに継

続運転可能。出口プラグ温度は H = 270°C と O = 282°C、メインプラグ温度は純化によりナトリウム温度（320~310°C）から離れ、CT 閉塞後に測ったところ O = 292°Cまで下がっていた。このような大幅なメインプラグ温度のナトリウム温度よりの低下は今までになかった事である。

□ 第14日目（4/17/84） [O : 574g, H : 72g]

第6回目の温度サイクルを掛けている間、CT は隔離されているため、メインプラグ温度はナトリウム温度までもどった。

□ 第15~16日目（4/18, 19） [O : 1217g, H : 62g]

純化期間中、前回は CT 出口プラグ温度の測定を行なったので、今回は同一条件でメインプラグ温度の測定を行なったところ、やはり純化開始12時間後には H = 277°C, O = 288°C まで低下（このときメイン・ナトリウム温度は約 310°C）。しかし、この頃からプラギング計の挙動に安定したダブル・ブレーク現象が見られるようになる。両者の温度差は 10~14°C 程度である。これ以後はこれまでの CT 昇温サイクルによる閉塞物除去運転をひとまず休止し、T111 ≈ 320°C, T214 ≈ 250°C, F201 ≈ 4 ton/H で定常純化を行ない、流量低下が生じたら純化系を隔離しないで T214 → 300~320°C に昇温して閉塞物を溶かす方法を用いた。この結果、一担上昇したメインプラグ温度は、H = 280°C, O = 292°C まで低下した。CT 出口プラグ温度は更に 2~3°C 低くほぼ CT 温度と同じとなった。

□ 第17~19日（4/20~22） [O : 1741g, H : 122g]

メインプラグ温度の低下より反応生成物が次第に少くなりつつある事が考えられたので、メインナトリウム温度を 330→350°C、CT 温度を 270→260°C と次第に温度差を拡げて行った。メイン／出口プラグ温度は H = 260/257°C, O = 272/266°C であった。

□ 第20~21日（4/23, 24） [O : 775g, H : 42g]

更に T111 → 408°C, T214 → 約 230°C としたがメインプラグ温度は H = 248°C と低いままであるので、CT を隔離して昇温サイクルを掛ける間のプラグ温度変化を見た。純化していないにもかかわらずメインプラグ温度はほとんど変化しないので、反応生成物は既におおかた除去されたと判断し、フェーズⅡの運転を終了した。

□ 第22~23日（4/25, 26） [O : 298g, H : 26g]

純化系をメイン・ループに接続する際に、高濃度の不純物がメイン側に流れ込んだため一時的にメインプラグ温度の上昇が生じた。また、途中で CT 温度を 260°C まで上げたために、同様にプラグ温度の上昇が生じた。しかし、メイン温度 360°C、CT 温度約 140°C で純化したところ、メインプラグ温度は約 4°C/H の割合で低下して行き、遂に 187°C まで達したため、フェーズⅢの目標を達成して運転を終了した。

1日ごとの捕獲不純物量を Table 3.2.1 にまとめる。また、全純化運転期間を通して CT で捕獲

された酸素及び水素の量は以上の値を積算して

酸 素 : 12.8 kg

水 素 : 1.10 kg

となる。

Table 3.2.1 捕獲酸素／水素量(計算値 式(3.4))

	日 付	捕 獲 酸 素 量	捕 獲 水 素 量
1	4/04	141	-1.2
2	4/05	2079	185.3
3	4/06	609	55.8
4	4/07	450	48.3
5	4/08	697	61.7
6	4/09	332	28.3
7	4/10	511	45.2
8	4/11	696	30.8
9	4/12	582	24.5
10	4/13	702	79.3
11	4/14	650	69.4
12	4/15	216	41.8
13	4/16	773	110.4
14	4/17	574	72.5
15	4/18	823	43.4
16	4/19	334	18.4
17	4/20	698	33.5
18	4/21	565	49.5
19	4/22	479	39.1
20	4/23	617	31.4
21	4/24	159	10.4
22	4/25	243	20.4
23	4/26	54	5.7
24	4/27	0.0	0.0

(単位:g)

3.3 ナトリウムサンプリング

RECT-II試験の純化運転時において、主循環系ループのナトリウムをサンプリングし、その分析を行なった。（分析は実験炉、技術課にて実施）

ナトリウムサンプリングは、純化運転中主循環系配管より分岐した配管に約3.2ℓ/minの流量でナトリウムを4時間程度流した後、サンプリング管両端の弁を閉じ、封入したナトリウムを4分程度で室温付近まで強制的に冷却固化し、配管からサンプリング管を取り外し計4ケースのナトリウムをサンプリングした。

以下にサンプリングしたナトリウムの成分分析及びその時の各運転状態を示す。

Table 3.3.1 分析結果

単位: wt ppm

成分名 サンプリングNa	* Na (%)	O	H	Fe	Ni	Cr
No. 1	>99.8	382 ** 428	6.95	0.04	0.15	0.005
No. 2	>99.9	83.5	1.78	0.11	0.02	0.008
No. 3	>99.9	110 ** 67.5	1.34	0.20	0.02	0.016
No. 4	>99.9	17.2	0.38	0.07 ** 0.24	<0.02 ** 0.04	0.007 ** 0.063

* ナトリウム純度は不純物量(O, H, Fe, Ni, Cr およびO, H 量より計算して求めたNa量)を差引いた残りとした。

** バラッキが大きいため、平均しない値

Table 3.3.2 各運転状態

サンプリング No.	サンプリング 日 時	主循環Na プラグ温度	主循環Na 温度(T111)	コールドトラップ各部温度			
				T214	T2001	T2008	T2016
No. 1	4/12 16:12	303°C	317°C	296°C	316°C	292°C	302°C
No. 2	4/23 18:13	240	385	224	339	218	317
No. 3	4/25 17:50	240	362	144	318	137	293
No. 4	4/26 14:00	204	364	138	315	133	291

3.4 抵抗式液面計の挙動と反応生成物分析結果

3.4.1 抵抗式液面計の挙動

RECT-II試験運転時に於ける抵抗式液面計での測定結果は、Fig 3.4.1 の通りである。

抵抗式液面計の出力変化(△V)は、2日目から現われ始め、10日目まで反応生成物蓄積量の上昇と思われる変化が見られる。(Fig 3.4.1 の抵抗式液面計出力値(反応生成物液面)に変動があるのは、①抵抗式液面計の測定タップ間隔が10mmである。②コールドトラップ内部温度変化によるドリフトがある。)

13日目以降は、出力値がほぼ安定し、コールドトラップ底部より135mm位置の出力値となっている。

従って、RECT-II試験時に反応生成物がトラップされていたのは、13日目くらいまでで、それ以降はほとんどトラップされていないのがわかる。

* RECT-II 試験後の反応生成物液面及びトラップ量の確認

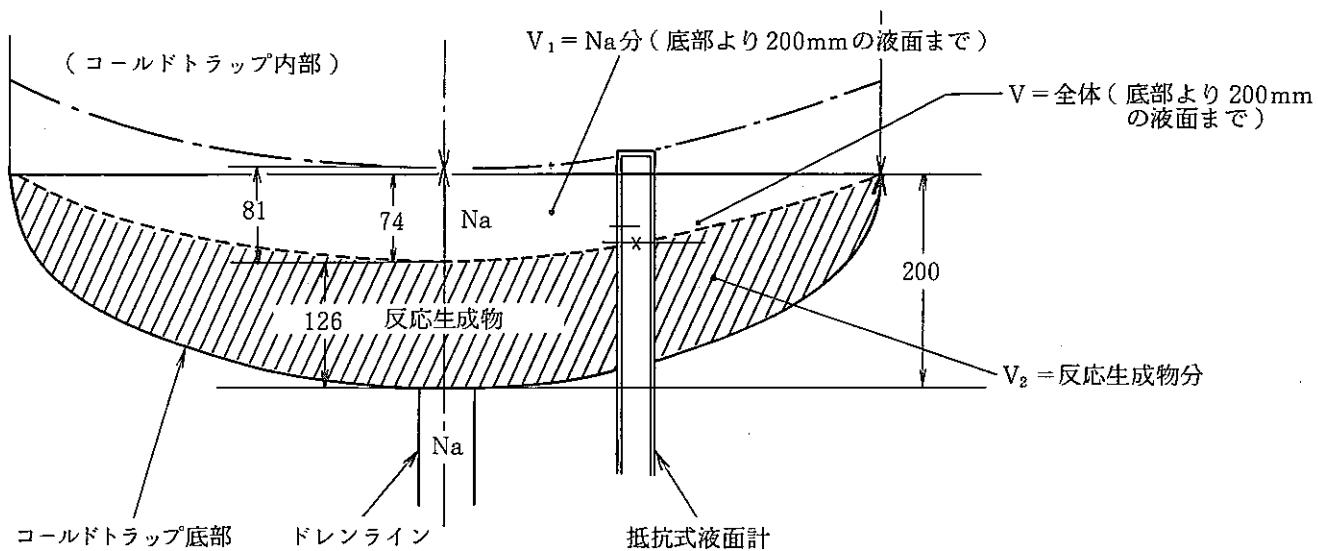
RECT-II 試験後、コールドトラップ内反応生成物及びナトリウム分の寸法測定を実施したところ、下記に示す寸法が確認された。

- ① コールドトラップ中心位置での寸法を実測したところ、底部より、126mmが反応生成物層、その上部81mmがNa層であった。
- ② コールドトラップ上部サイフォン管ラインより、寸法を実測したところ、底部より236mmまで残留物層(ここでは、反応生成物+Na層)が確認された。
- ③ コールドトラップ壁面部の反応生成物液面は、反応生成物ドレン後の壁面付着状況から、底部フィンの高さとほぼ等しい約200mmであることが確認された。

以上の測定結果に、抵抗式液面計で測定した結果を加えると、反応生成物のコールドトラップ内蓄積状況は、Fig 3.4.2 のようになる。

Fig 3.4.2 から、反応生成物は、壁面に近づくほど液面が高くなり、湾曲していたことがわかる。

次に Fig 3.4.2 から蓄積した反応生成物層の容量を計算する。



反応生成物層の容量 $V_2 (\ell)$ は、

$$V_2 = V - V_1$$

であるから

① V を半楕円として計算する。

$$V = \frac{1}{2} \times \frac{4}{3} \pi abc = \frac{4}{6} \pi \times 400 \times 400 \times 200 = 67.02 (\ell)$$

② V_1 を球冠として計算する。

$$V_1 = \frac{1}{6} \pi (3a^2 + h^2) h = \frac{1}{6} \pi (3 \times 400^2 + 74^2) \times 74 = 18.8 (\ell)$$

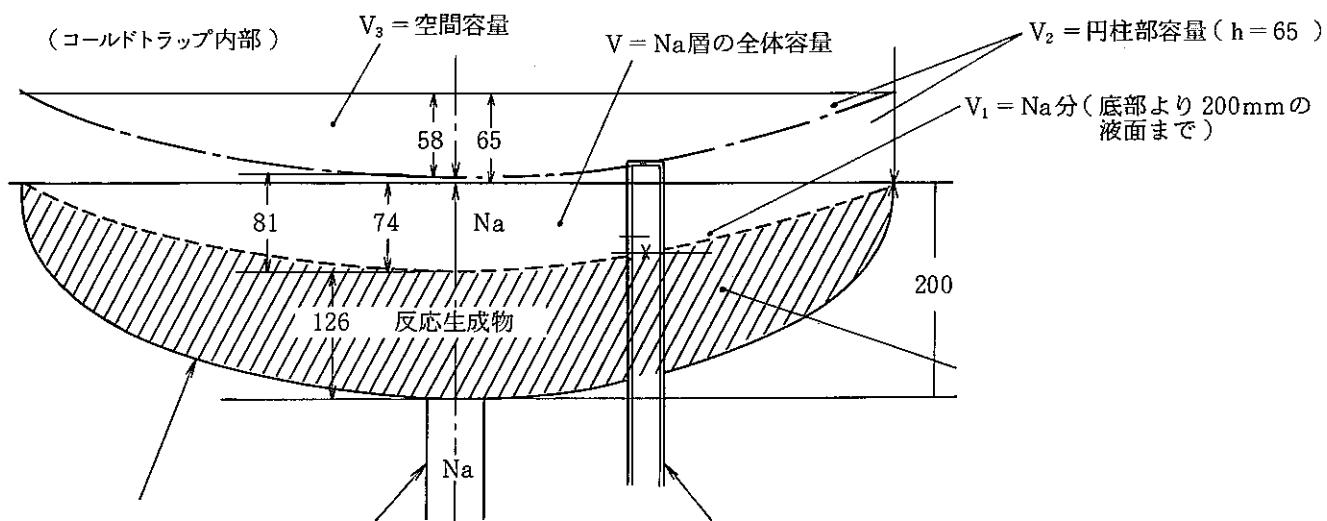
\therefore 反応生成物層の容量 $V_2 (\ell)$ は

$$V_2 = V - V_1 = 67.02 (\ell) - 18.8 (\ell) = 48.22 (\ell)$$

となる。

従って、RECT-II試験後、コールドトラップにトラップされた反応生成物の蓄積量は、約 48 (ℓ) である。

同様に Na 層の容量を計算する。



Na 層容量 $V(\ell)$ は、

$$V = V_1 + (V_2 - V_3)$$

であるから

① V_2 を円柱として計算する。

$$V_2 = \pi r^2 h = \pi \times 400^2 \times 65 = 32.67 (\ell)$$

② V_3 を球冠として計算する。

$$V_3 = \frac{1}{6} \pi (3a^2 + h^2) h = \frac{1}{6} \pi (3 \times 400^2 + 58^2) \times 58 = 14.68 (\ell)$$

\therefore Na 層の容量 $V(\ell)$ は

$$V = V_1 + (V_2 - V_3) = 18.8 (\ell) + (32.67 (\ell) - 14.68 (\ell)) = 36.8 (\ell)$$

となる。

3.4.2 反応生成物分析結果

RECT-II 試験後に於けるコールドトラップ内、反応生成物（試料No.1）、及びNa（試料No.2）、高温ドレン後の反応生成物（試料No.3）について分析を実施した。

① 各成分の分析結果

Na_2O 及び Na_2OH の成分については、以下の算出式から求める。

※ Na_2O , NaOH 算出式

(* 印は実測値)

$$A^* = \text{Na} + \text{NaH} + \text{Na}_2\text{O} + \text{NaOH} + \text{水不溶解残分} *$$

$$B^* = \text{Na}_2\text{O} + \text{NaOH} + \text{水不溶解残分} *$$

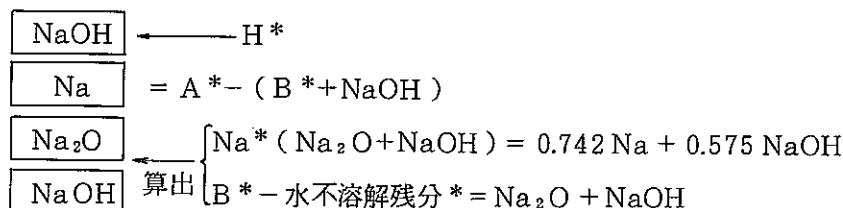


Table 3.4.1 分析結果(右の値は平均値)

(wt. %)

成分 試料No.	Na	NaH	Na ₂ O	NaOH	水不溶解残分	計
1-1	-30	34	64	34	0.0	102
1-2	-28 -31.7	36 37.7	70 67.7	21 26.3	0.0 0.0	99 100.0
1-3	-37	43	69	24	0.0	99
2-1	91	0.55	1.8	3.6	0.0	97
2-2	94 90.3	1.1 1.5	4.0	4.8 4.2	0.0 0.0	104 99.5
2-3	86	2.9	4.8	4.2	0.0	98
3-1	-25	31	46	45	0.55	98
3-2	-22	31 31.0	36 36.7	51 54.0	0.0 0.18	96 97.9
3-3	-26	31	28	66	0.0	99

Table 3.4.1 では、試料No.1 及びNo.3 のNa成分が(-)になっているが、これは水素量を算出するため、蒸着 Na を NaH に換算しているため、試料No.1 及びNo.3 を再計算すると、次項 Table 3.4.3 のようになる。

Table 3.4.1 平均値より

Table 3.4.2 Na + NaH割合

(wt. %)

成 分 試料No.	Na	NaH	Na+NaH
1	-32.0	38.0	6
3	-24.0	31.0	7

発生 H* → NaH 算出のため Na が(-)へ
 蒸着 Na* → NaH } として再計算する。
 発生 H* - H (NaH) = H

Table 3.4.3. 試料No.1, No.3 の水素量

(wt. %)

試料No. 成分	Na *	NaH	H (NaH)	H *	H
1	4.4	4.6	0.2	1.6	1.4
3	5.6	5.8	0.2	1.3	1.1

分析した結果を最終的にまとめると、以下に示す Table 3.4.4 の通りとなる。

Table 3.4.4 分析結果

試料No. 成分	Na	NaH	H	Na ₂ O	NaOH	水不溶解 残分	計
1	* (Na + NaH) 4.6		1.4	67.7	26.3	0.0	100.0
2	90.3	1.5	0.06	3.53	4.2	0.0	99.6
3	* (Na + NaH) 5.8		1.1	36.7	54.0	0.18	97.8

※ 以後の計算に於いては、全て NaH 成分とする。

(H 計算上、Na が (-) になるため)

試料No.1 (反応生成物層) は、コールドトラップ底部より採取したサンプルであるが、Na₂O 及び NaOH が全体の94%を占め、その残りは、NaH + Na 及び H となっている。

又、Na₂O の割合は、全体の70%弱となっており、Na₂O がかなり多く含まれている。
(NaOH の約 2.5 倍に相当する。)

試料No.2 (Na 層) は、Na が全体の90%を占め、残りの10%は Na₂O 及び NaOH が、ほぼ同じ割合で含まれている。

又、高温ドレンした後の試料No.3 (反応生成物層) になると NaOH が全体の 55 % になり (Na₂O は 38 %)，試料No.1 の結果と逆転する。

(NaH + Na と H の割合は、ほぼ同じである。)

これら 3 種のサンプリング・データを用いて、捕獲酸素量の推定を試みる。

② 試料No.1 (コールドトラップ内、反応生成物層) に於ける各成分重量及び酸素量
(各成分の重量)

3.4.1 で計算した反応生成物層の容量 48.22 (ℓ) を使用し、試料No.1 に含まれている各成分の重量及び TOTAL 重量を求める。

各成分の比重は、それぞれ

NaH : 0.93

Na ₂ H	: 2.27
NaOH	: 2.13
Na	: 0.971

としH分は考慮しない。

(成分中の NaH + Na は、 NaH の比重を使用する。)

各成分の重量比 (wt. %) と比重より、試料No.1 の TOTAL 重量を求める。

$$\text{NaH} + \text{Na} = 4.6 \text{ (wt. \%)} / 0.93 = 4.95$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 67.7 \text{ (wt. \%)} / 2.27 = 29.82$$

$$\text{NaOH} = 26.3 \text{ (wt. \%)} / 2.13 = 12.49$$

$$\underline{96.6 \text{ (wt. \%)} \quad 47.26}$$

従って試料No.1 の全体比重は、 2.09 となるから、 TOTAL 重量は、

$$48.22 (\ell) \times 2.09 = 100.8 \text{ (kg)}$$

になる。

この TOTAL 重量から、 RECT-II 試験後コールドトラップ内に蓄積していた反応生成物層の各成分重量を求める。

$$\text{NaH} + \text{Na} = \frac{4.6 \text{ (wt. \%)}}{98.6 \text{ (wt. \%)}} \times 100.8 \text{ (kg)} = 4.703 \text{ (kg)}$$

$$\text{Na}_2\text{O} = \frac{67.7 \text{ (wt. \%)}}{98.6 \text{ (wt. \%)}} \times 100.8 \text{ (kg)} = 69.21 \text{ (kg)}$$

$$\text{NaOH} = \frac{26.3 \text{ (wt. \%)}}{98.6 \text{ (wt. \%)}} \times 100.8 \text{ (kg)} = 26.89 \text{ (kg)}$$

になる。

(酸素量)

コールドトラップ内反応生成物層に含まれている酸素量を試料No.1 の分析結果より求める。

試料No.1 中で酸素を含む成分は、 Na₂O 及び NaOH であるから、酸素量はそれぞれ

$$\text{Na}_2\text{O} = \frac{16 \text{ (g)}}{62 \text{ (g)}} \times 69.21 \text{ (kg)} = 17.86 \text{ (kg)}$$

$$\text{NaOH} = \frac{16 \text{ (g)}}{40 \text{ (g)}} \times 26.89 \text{ (kg)} = 10.76 \text{ (kg)}$$

になるから

コールドトラップ内反応生成物層中の酸素量は、

$$\text{Na}_2\text{O 分} + \text{NaOH 分} = 17.86 \text{ (kg)} + 10.76 \text{ (kg)} = 28.62 \text{ (kg)}$$

になる。

③ 試料No.2（コールドトラップ内Na層）に於ける各成分重量及び酸素量
 （各成分の重量）

3.4.1で計算したNa層の容量36.8(ℓ)を使用し、試料No.2に含まれる各成分の重量及びTOTAL重量を求める。

各成分の重量比(wt.%)と比重より試料No.2のTOTAL重量を求める。

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Na} & = 90.7 \text{ (wt. \%)} / 0.971 & = 93.4 \\
 \text{NaH} & = 1.51 \text{ (wt. \%)} / 0.93 & = 1.56 \\
 \text{Na}_2\text{O} & = 3.53 \text{ (wt. \%)} / 2.27 & = 1.98 \\
 \text{NaOH} & = 4.22 \text{ (wt. \%)} / 2.13 & = 1.62 \\
 \hline
 & 100 \text{ (wt. \%)} & 98.56
 \end{array}$$

従って試料No.2の全体比重は1.02となるから、TOTALは、

$$36.8 \text{ (ℓ)} \times 1.02 = 37.5 \text{ (kg)}$$

になる。

このTOTAL重量からRECT-II試験後、コールドトラップ内に残留していたNa層の各成分を求める。

$$\text{Na} = \frac{90.7 \text{ (wt. \%)}}{100 \text{ (wt. \%)}} \times 37.5 \text{ (kg)} = 34.0 \text{ (kg)}$$

$$\text{NaOH} = \frac{1.51 \text{ (wt. \%)}}{100 \text{ (wt. \%)}} \times 37.5 \text{ (kg)} = 0.57 \text{ (kg)}$$

$$\text{Na}_2\text{O} = \frac{3.53 \text{ (wt. \%)}}{100 \text{ (wt. \%)}} \times 37.5 \text{ (kg)} = 1.32 \text{ (kg)}$$

$$\text{NaOH} = \frac{4.22 \text{ (wt. \%)}}{100 \text{ (wt. \%)}} \times 37.5 \text{ (kg)} = 1.58 \text{ (kg)}$$

になる。

（酸素量）

コールドトラップ内、Na層に含まれている酸素量を試料No.2の分析結果より求める。

試料No.2中で酸素を含む成分はNa₂OとNaOHであるから酸素量は、それぞれ

$$\text{Na}_2\text{O} = \frac{16 \text{ (g)}}{62 \text{ (g)}} \times 1.32 \text{ (kg)} = 0.34 \text{ (kg)}$$

$$\text{NaOH} = \frac{16 \text{ (g)}}{40 \text{ (g)}} \times 1.49 \text{ (kg)} = 0.63 \text{ (kg)}$$

になるから

コールドトラップ内Na層中の酸素量は

$$\text{Na}_2\text{O分} + \text{NaOH分} = 0.34 \text{ (kg)} + 0.63 \text{ (kg)} = 0.97 \text{ (kg)}$$

になる。

④ 試料No.3（高温ドレン後、ドレンポット内反応生成物層）に於ける各成分重量及び酸素量
(各成分の重量)

高温ドレン後の反応生成物層の重量は、実測されており、58.6 kgであるから、その値を使用し、各成分の重量を求める。

$$\text{NaH} + \text{Na} = \frac{5.93 \text{ (wt. \%)} }{98.81 \text{ (wt. \%)} } \times 58.6 \text{ (kg)} = 3.52 \text{ (kg)}$$

$$\text{Na}_2\text{O} = \frac{37.5 \text{ (wt. \%)} }{98.81 \text{ (wt. \%)} } \times 58.6 \text{ (kg)} = 22.2 \text{ (kg)}$$

$$\text{NaOH} = \frac{55.2 \text{ (wt. \%)} }{98.81 \text{ (wt. \%)} } \times 58.6 \text{ (kg)} = 32.7 \text{ (kg)}$$

$$\text{水不溶解残分} = \frac{0.18 \text{ (wt. \%)} }{98.81 \text{ (wt. \%)} } \times 58.6 \text{ (kg)} = 0.1 \text{ (kg)}$$

になる。

(酸素量)

高温ドレン後の反応生成物中に含まれている酸素量を試料No.3の分析結果より求める。

試料No.3中で酸素を含む成分は、 Na_2O と NaOH であるから酸素量は、それぞれ

$$\text{Na}_2\text{O} = \frac{16 \text{ (g)}}{62 \text{ (g)}} \times 22.2 \text{ (kg)} = 5.7 \text{ (kg)}$$

$$\text{NaOH} = \frac{16 \text{ (g)}}{40 \text{ (g)}} \times 32.7 \text{ (kg)} = 13.1 \text{ (kg)}$$

になるから

高温ドレン後のドレンポット内反応生成物中の酸素量は、

$$\text{Na}_2\text{O 分} + \text{NaOH 分} = 5.7 \text{ (kg)} + 13.1 \text{ (kg)} = 18.8 \text{ (kg)}$$

になる。

3.5 隙間試験体及びNaOH試験体解体結果

(1) 隙間試験体

反応容器内に設置したNo.1～No.10隙間試験体について容器内より取り出し、潮解を防ぐためにArガス置換したグローブボックス内で解体し、各隙間に浸入しているナトリウムあるいは反応生成物の割合を目視によって観察した。

① No.1試験体（注水試験前に入れ、RECT-II運転前に取り出した物）

各隙間に浸入しているナトリウムあるいは反応生成物の状態をFig.3.5.1に示す。

3mm～0.1mmの各隙間には、ナトリウム－水反応によって生じた反応生成物が、内容積の2～5割程度堆積していた。

但し、広い隙間と狭い隙間とでは反応生成物の堆積量に明らかな違いは見られなかった。

② No.2～No.6試験体（注水試験前に入れ、RECT-II運転後に取り出した物）

No.2及びNo.6試験体の各隙間に浸入しているナトリウムあるいは反応生成物の状態をFig.3.5.1に示す。

No.5試験体の3mm、0.5mm及び0.2mmの隙間には内容積の1～2割程度の反応生成物が堆積していたが、その他の試験体の3mm～0.1mmの隙間には反応生成物の堆積はなく全面にナトリウムが浸入していた。

No.2～No.6試験体はNo.1試験体と同様にRUN-18試験前から反応容器内に設置し、その後RECT-II試験のナトリウム純化運転終了後取外して隙間内部を観察したもので、RECT-II試験前の時点では各試験体の隙間にはナトリウム－水反応時に生じた反応生成物がNo.1試験体と同程度堆積していたとすれば、RECT-II試験のナトリウム純化運転によって大部分の堆積していた反応生成物はナトリウム中に溶解したと思われる。

又、各試験体は反応容器下部の同一平面上に中心から外側に間隔をおいて設置していたが、どの試験体も反応生成物がナトリウム中に溶解していることから、取付位置の違いによって溶解率が変わることはないようと思われる。

③ No.7～No.10試験体（RECT-II運転前にNaOHを詰めて組込んだ物）

No.7及びNo.9試験体の各隙間に浸入しているナトリウムあるいは反応生成物の状態をFig.3.5.1に示す。

No.7及びNo.8試験体の0.2mmの隙間は全面ナトリウムが浸入していたが、その他の隙間に事前に溶かし入れたNaOHがほとんど残留していた。

ナトリウム－水反応によって生じた反応生成物を堆積させ、RECT-II試験のナトリウム純化運転によって、その反応生成物がほとんどナトリウム中に溶解したNo.2～No.6試験体に比べNo.7、No.8試験体隙間に堆積させたNaOHはナトリウム純化運転後においても大部分がナトリウム中に析出することなく、残留していた。

但し、同じくNaOHを隙間に入れて反応容器上部に設置していたNo.9試験体の隙間には

大部分にナトリウムが浸入し、若干NaOHが付着している程度であった。

又、No.9試験体の下部に隙間開口部分を横向きに取付けたNo.10試験体の3mm及び0.2mmの隙間にはNaOHが残留したままで、0.5mm及び0.1mmの隙間には全面ナトリウムが浸入し、NaOHはわずかに付着している程度であった。

(2) NaOH試験体

94mm^φ×115mmHの容器にNaOHを約0.35ℓ溶かし入れRECT-II試験前に反応容器の上部に設置したNaOH試験体をRECT-II試験終了後取り出し、NaOHの量を測定した。

測定は試験体容器に堆積している高さから求めたが約0.34ℓのNaOHが残留しており、RECT-II試験のナトリウム純化運転中において、ほとんどのNaOHはナトリウム中に溶解することなく堆積したままになっていた。

3.6 試験後の観察

従来、SWAT-3においてはナトリウム-水反応試験後の反応容器内部の構造物表面、容器内壁及び下部鏡板部分には、ナトリウムや反応生成物がドレンされず堆積、付着しているため、容器内部を蒸気洗浄している。

RECT-II試験後においても同様に蒸気洗浄したが、その前に内部を観察してナトリウム、反応生成物の堆積、付着状況を調べた。

但し、観察位置は容器の上蓋フランジ部、下部予備孔フランジ部及び主循環系配管より切り放すため切断したナトリウム出入口配管部からになり、全体的には、内部を蒸気洗浄した時点で、残留しているナトリウムの量に応じ発生する水素ガスの量と洗浄後に測定するNaOHの量とから推定した。

(1) 観察結果

いずれの位置からも目視によって観察した結果、内部構造物表面容器内壁、下部鏡板部分及び容器下部に設置していた仕切板上にはわずかにナトリウムが付着している程度で反応生成物の堆積はない様子だった。

(2) 蒸気洗浄結果

通常ナトリウム-水反応試験後の反応容器内蒸気洗浄は、ナトリウム中に注入された蒸気量によっても異なるが4日～10日程度要するが、RECT-II試験後においては約1日で洗浄作業が終了した。

4. 考察

4.1 捕獲酸素量と注入量との関係

前章までに述べて来た結果を基に注入酸素量と捕獲酸素量との比較を行なう。既ち、2.4で求めた注水量よりの換算値、3.2でのプラグ温度を基にした捕獲酸素量の積算値、及び3.4でのCT内捕獲不純物の化学分析結果から推定した捕獲酸素量を比較すると、以下のようになる。

$$\left\{ \begin{array}{l} A : \text{注水量 } 47.3 \times \frac{16}{18} = 42.0 \text{ kg} \\ B : \text{プラグ温度より} \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots 12.8 \text{ kg} ; \quad B/A = 30 \% \\ C : \text{CT ドレン前の分析結果より} \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots 29.6 \text{ kg} ; \quad C/A = 70 \% \\ D : \text{CT ドレン後の分析結果より} \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots 18.8 \text{ kg} ; \quad D/A = 45 \% \end{array} \right.$$

これらの不一致の原因として考えられるものには次のようなものがある。

- ① プラグ温度の信頼性
- ② CT 捕獲不純物内の偏析
- ③ 初期反応生成物量の不確かさ

以上、3点について検討を行なう。

(1) プラグ温度の信頼性

2.3.2で述べたように、プラグ温度の信頼性については、プラグ温度と不純物飽和温度との間のズレの問題と不純物濃度と酸素濃度との関係の問題がある。まず前者について見ると飽和温度として完全溶解モードでのアンプラグ温度を採用したが、この温度は不完全溶解モードでのプラグ／アンプラグ平均温度より最大で5°C程高い。仮に全期間を通してメイン／CT出口プラグ温度を5°C高く読んでしまったとする、たとえば300/260°Cの場合本当は295/255°Cである。この場合の酸素濃度差は前者が93.0-44.5=48.5[%]、後者が85.3-40.2=45.1[%]となり、約8%過大評価していた事になる。実際には全期間で5°Cもの差があった訳ではなくメイン／CT出口温度差ももっと小さかったのでこのように大きくはないはずだが、いずれにせよ過大評価であって、上記Bの12.8kgが少なくなる事はあっても大きくなることはない。

次に不純物濃度と酸素濃度の関係について見ると、これは3.2.1で述べたように、かなり大胆に第1プラグ温度を推定し、酸素飽和温度に置換えているので誤差の含まれている可能性は小さくない。しかし、当初の計算では、明確にダブル・ブレークが現われている所を除いては、測定プラグ温度を全て酸素飽和温度に等しいとして捕獲量を計算しており、この計算結果では酸素捕獲量11.5kgとなった。

従って、この点に関する誤差も10%以下で上記の不一致を説明できるようなものではない。

(2) CT 捕獲不純物の偏析

CT 捕獲不純物の化学分析については 3.4.2 で示したように 3 ケ所からサンプルを選んで分析している。Table 3.4.1 に見るようにこの 3 つのデータは比較的バラツキが少ない。しかし、各試料について 3 ケ所のサンプル箇所は比較的近い場所であり、対象物の広い範囲からまんべんなく採取した訳ではなかった。従って現に 3.4.2 で求めた捕獲酸素量の値も C が 29.6 kg と D の 18.8 kg に比べ相当多目になっている。この事から化学分析値の誤差は無視できないが、それでも前注入酸素量との開きはまだ大きい。

(3) 初期反応生成物量の不確かさ

ここでの不確かさの入込む余地としては、①注水量、②注水後のドレンによる生成物の逃げがある。注水量については差圧式レベル計の読みから注水配管中の水の量（注水後ブローした）を差引いて求めているほか、タービン式流量計の出力からも相応の数字が得られている。このため①には大きな誤差はない。

注水試験後一旦 ドレンした際の EV 内部観察結果によれば、反応生成物量は意外に少なく、Na を含んだ状態で受皿近辺に 19 ℥ と観察されている。当初の予定ではスリ切り容積 116 ℥ の受け皿に大半の反応生成物を貯めて、なるべくその下の 8B 水平配管には行かないようにしたものである。しかし現実には予想に反して、この受け皿にはわずかの量の生成物しか残っていなかった。この事は 一旦沈降した生成物がドレン時にナトリウムの流れに巻込まれていっしょにドレンされた と解釈せざるを得ない。もちろん、反応直後一部の反応生成物は 8B 配管部に流れ込んだであろうし、ドレン後にも一部は 8B 配管内に残留したと思われるが、受け皿から生成物が流れ出たように 8B 配管中の生成物もドレン時にダンプタンクへ流出したと考えるのが自然である。

従来の SWAT-3 試験では（特に Run 1～4 及び 7），注水によって生じた反応生成物の半分以上が反応容器底部や 8B 水平配管にコンクリート状に溜まり時にはドレン配管を閉塞させた。しかし今回の Run 18 では、受け皿に溜った生成物はコンクリート状ではなく降り積もった雪のような軽やかな印象を持ち、ナトリウムの流れに巻込まれて共に流動する可能性は充分と思われた。この両者の形態の違いの原因としてナトリウム温度の違いが考えられる。過去の SWAT-3 試験で残留生成物量が多かった場合のナトリウム温度は 245～380 °C であった。このようにナトリウム温度が低い場合、発生した反応生成物（NaOH, Na₂O 等）は初め液相であるが、ナトリウムとの比重差により EV 底部や 8B 水平配管に滞留したのち冷却過程でそのまま固化したものと推察される。これに対し、今回の Run 18 のようにナトリウム温度が、470 °C と高い場合、発生した酸素や水素は一旦ナトリウム中に溶解し、次の段階でナトリウムが徐々に冷却される過程で過飽和分が NaOH や Na₂O の形で析出・沈降したために流動性を有していたと考えられる。

以上の事情から、Run 18 注水試験直後の Na ドレンにより約 2/3 の反応生成物もダンプ

タンクへ落とされたと考えるのが妥当である。

次に、前記B, C, Dのうちいづれが真の捕獲量に最も近いものであるかと言う点について考察する。精度から言えばプラグ温度から求めたBが誤差10%程度で比較的信頼性があると思われる。これに対し分析結果は偏析の問題がありCとDとで大きく食違っている事からも精度は落ちると考えられる。従って、C, D共に大きくBを上回っているために、やや引掛るもの、Bの13kgが真の捕獲酸素量に比較的近いと考えるべきと思われる。

4.2 CT効率と溶解率

4.2.1 CT効率

CTの効率は次式で表わされる。

$$\eta = \frac{C_i - C_o}{C_i - C_{ct}}$$

CT内には温度分布があるため、どの点をCT代表温度に採用するかにより、効率自体も変化する。従って他のCTとの比較と言う意味では効率はあまり大きな意味を持たない。しかし、本試験で用いたCTの効率が時間の推移と共にどのように変化したかと言うのは充分興味のあることである。

本装置ではCT入口及び出口プラグ温度は同時に測定できない構造であるため、測定点をつなぐ意味で3.2(1)のモデルに基づいて計算したプラグ温度を本計算に用いた。そのうち酸素濃度挙動に対する結果をFig. 4.2.1に示す。

当初CT効率は約0.9とかなり高かったが、閉塞気味になり流量低下が生じた第6日目には0.5に落ちた。その後閉塞の度にCT昇温サイクルを掛けたが効率は0.8から0.4に次第に低下して行った。第15～21日の間、CT温度を下げる過程で両プラグ温度も並行して下がって行ったが、CT効率もそれに伴い0.4～0.3まで低下した。最後のCT昇温サイクルを掛けた後、運転を終了するまでは0.6程度の効率に復帰していた。

CT効率の漸減の理由としては、CT内壁面への不純物付着により、CT壁面と析出面との温度差が拡大したためと考える事ができる。しかし閉塞物除去のためにCTに温度サイクルを掛ける事で効率もある程度復帰する事が第21、22日の比較から読み取れる。

4.2.2 溶解率

溶解率とは単位時間にナトリウムに溶け込む不純物量である。溶解率Qは、物質移動係数、反応生成物表面積、及び未飽和濃度の積として

$$Q = K \cdot S \cdot (C_{sat} - C_{oo}) \quad [g/H]$$

と表わされる。Fig. 4.2.2はメインのナトリウム温度T111、測定プラグ温度及び計算酸素飽和温度と共に溶解率Qをプロットしたものである。3.2.2で示したように計算上の酸素飽和温度が測定値の第1プラグ温度に一致するように適当なKSの積を与えてやる事で全時間領域での溶解率等の値を得たものである。

未飽和度が大きい場合、溶解率は100～160 [g/H]程度まで達した事が判る。この場合、閉塞が生じたため同一条件での長時間運転はできなかったが、閉塞を起こさないような構造にできれば捕獲能率は極めて高くなる事が期待できる。これはRECT-I試験における溶解率が高い方で21 [g/H]であった事で考えるとメッシュレスCTの高い潜存能力を意味している

と考えられる。

入力値として用いた KS 値より物質移動係数を求めるためには、反応生成物の表面積を与えるべきながれど実際にはこの推測は難しい。生成物表面はかなり起伏が激しいし表面積自体が純化の進展と共に減少して行くからである。運転初期段階では反応容器壁面に付着した生成物を考慮しないといけないだろうし、またある時点を過ぎると EV 底や EV 出口 8B 管中の生成物表面積も減少し始めるであろう。種々の不確かさを承知の上で、反応生成物の表面積を EV 下部の生成物除去試験体、8B 配管面積の合計 ($0.63 + 1.33 = 1.96 \text{ [m}^2\text{]}$) として得た物質移動係数を Fig. 4.2.2 に併せて示した。

同挙動を見ると初めの 4 日程は $10^{-3} \text{ [g/cm}^2 \cdot \text{H} \cdot \text{mm}]$ と高く、8 日目に一旦極少になり再び上昇した後、13 日目から再び低下を始めている事が読み取れる。12 日までの挙動はメイン・ナトリウム温度挙動に相似である。即ちメイン・ナトリウム温度が NaOH の融点である 320°C 近辺にあった初期 (1 ~ 3 日) 及び中期 (9 ~ 13 日) には一部の NaOH が融解して Na と共に流れたため結果的に相対的に高い物質移動係数になったものと思われる。これに対し、13 日以後の低下はナトリウム温度を $310 \sim 320^\circ\text{C}$ に保存した状態が更に昇温した状態で生じており、明らかに反応生成物表面積の減少によるものと考えられる。また先に用いた反応生成物表面積 $1.96 \text{ [m}^2\text{]}$ は内部構造物や容器内壁表面に析出した生成物が再溶解した後と言う事で、時間的には初期と言うよりむしろ 9 ~ 13 日頃の約 $2 \times 10^{-4} \text{ [g/(cm}^2 \cdot \text{H} \cdot \text{mm})]$ に対応していると思われる。

4.3 提　　言

1978年に実施したRECT-I及び今回のRECT-II試験運転を通して明らかになった重要な問題は不純物によるCTの閉塞である。閉塞に至るまでの捕獲酸素量はRECT-Iで2.4kg, RECT-IIでは最初1.9kg, 昇温サイクルを掛けた後はその都度約1.2~1.5kgが閉塞までに捕獲された。RECT-Iはメッシュ・タイプのCT, RECT-IIはメッシュレス・タイプを用いた。上記捕獲量だけから見るとメッシュレス・タイプの優位性は必ずしも明らかではないが、約2kgの不純物を除くためにRECT-Iでは5日間, RECT-IIでは20~10時間を要した事を考えると温度差を大きくつけられるメッシュレス・タイプの方が能率が良いと考える。しかしいずれにせよ、閉塞が純化運転の大きな妨げになっている事は否めず、純化運転の能率を高めるためには、閉塞を起こしにくい構造及び容易に閉塞が除去できる構造のCTが必要となる。今回の試験でも同様の視点からメッシュレス・タイプを選び、基本的にはこの選択は誤りではなかったが、効率を上げるためにアニュラス部に付けたスカートが結果的に閉塞を招いたと言える。これらの点を考慮して、ナトリウムー水反応事故後の純化運転に使用するCTに要求される仕様を以下に掲げる。

- 1) メッシュレス・タイプが望ましい。
- 2) ノズル部のような流路の狭い部分を持たぬ事
- 3) 底部にいわゆるセトリング・チェンバを持つ構造である事
- 4) 450°C程度まで昇温可能な事
- 5) エコノマイザ等の使用は避ける。

通常運転時に微量不純物を除去する目的で設置されるCTには、このような要求は必ずしも適合しないかも知れないが、ナトリウムー水反応事故時に上記要求に合致する反応生成物除去用CTと交換すると言う方法が考えられる。

5. おわりに

ナトリウム-水反応生成物をコールドトラップを用いて除去すると言う手法は、高速炉蒸気発生器でのナトリウム-水反応事故後の修復法として最も代表的なものであり、「もんじゅ」においても水リーク事故後の運転法に組込まれている。このための実証試験として実施したのが本書で取扱った RECT-II 試験である。本試験は動燃団の SWAT-3 試験装置を用いて 1984 年 4 月 4 日～26日の23日間に行なったものである。主な結果は以下の通り、

- i) 運転開始時は不純物はほぼナトリウム運転温度で飽和していたが20日目頃からプラグ温度の顕著な低下が始まり、最終日には 187°Cまで低下した。
- ii) 試験後の観察でも、EV 下部や更にその下のナトリウム出口配管など運転前反応生成物が析出していた所も完全に純化されていた。
- iii) しかし、スタグナント部やクレヴィス部を模擬して造った隙間試験体、NaOH 試験体中の反応生成物や NaOH は試験後もかなり残っており、このような部分に浸入した反応生成物の除去は高温ナトリウムの循環だけでは不充分と思われる。
- iv) 23日間の捕獲不純物量はプラグ温度挙動より求めると酸素、水素がそれぞれ 13kg 及び 1.1 kg となる。しかし、試験後 CT ドレンにより推定した捕獲酸素量は 19kg となる。
- v) CT を用いた純化速度を阻害する要因としては CT の閉塞がある。このためメッシュレス・タイプとか縮流構造を避けるとか閉塞しにくい構造や閉塞しても容易に除去できる構造が CT に要求される。
- vi) 反応生成物表面積を EV 下部断面積及び 8 B 水平配管部内表面積の合計として計算した酸素の物質移動係数は約 2×10^{-4} [g/(cm²·H·ppm)] であった。

最後に本試験を実施するに当たって、宮口公秀室長、黒羽光男副主研初めプラント安全工学室員に多大な援助をいただいた。また本試験装置の製作・組立・運転等は東興機械工業（株）派遣員の手で行なわれた。末筆ながら御協力いただいた各位に感謝の意を表する。

6. 参考文献

- 1) R. K. Anand et. al, "Economical Removal of Sodium-Water Reaction Products (SWRP) from an LMFBR Intermediate Heat Transport System (IHTS)", Heat Transfer Div. of ASME Winter Annual Meeting, NY, Dec. 5, 1976.
- 2) L. Goodman "Meshless Cold Trap, A Performance Evaluation by Test and Analysis" LMEC-77-6 April 5, 1979.
- 3) 広井博ほか "FBRにおける水素の挙動および冷却材ナトリウムからの除去—コールド・トラップ委員会(第5報)—
4.2 蒸気発生器安全性総合試験装置(SWAT-3)におけるコールド・トラップによるナトリウム-水反応生成物除去試験"
PNC SN 241 80-20, 1980年8月
- 4) H. Tanabe, et. al, "Experiences on Removal of Sodium-Water Reaction Products in SWAT-3," IAEA-IWGFR Specialists' Meeting on Maintenance and Repair of LMFBR Steam Generator, IWGFR/53 Oarai, Japan June 4-8, 1984.

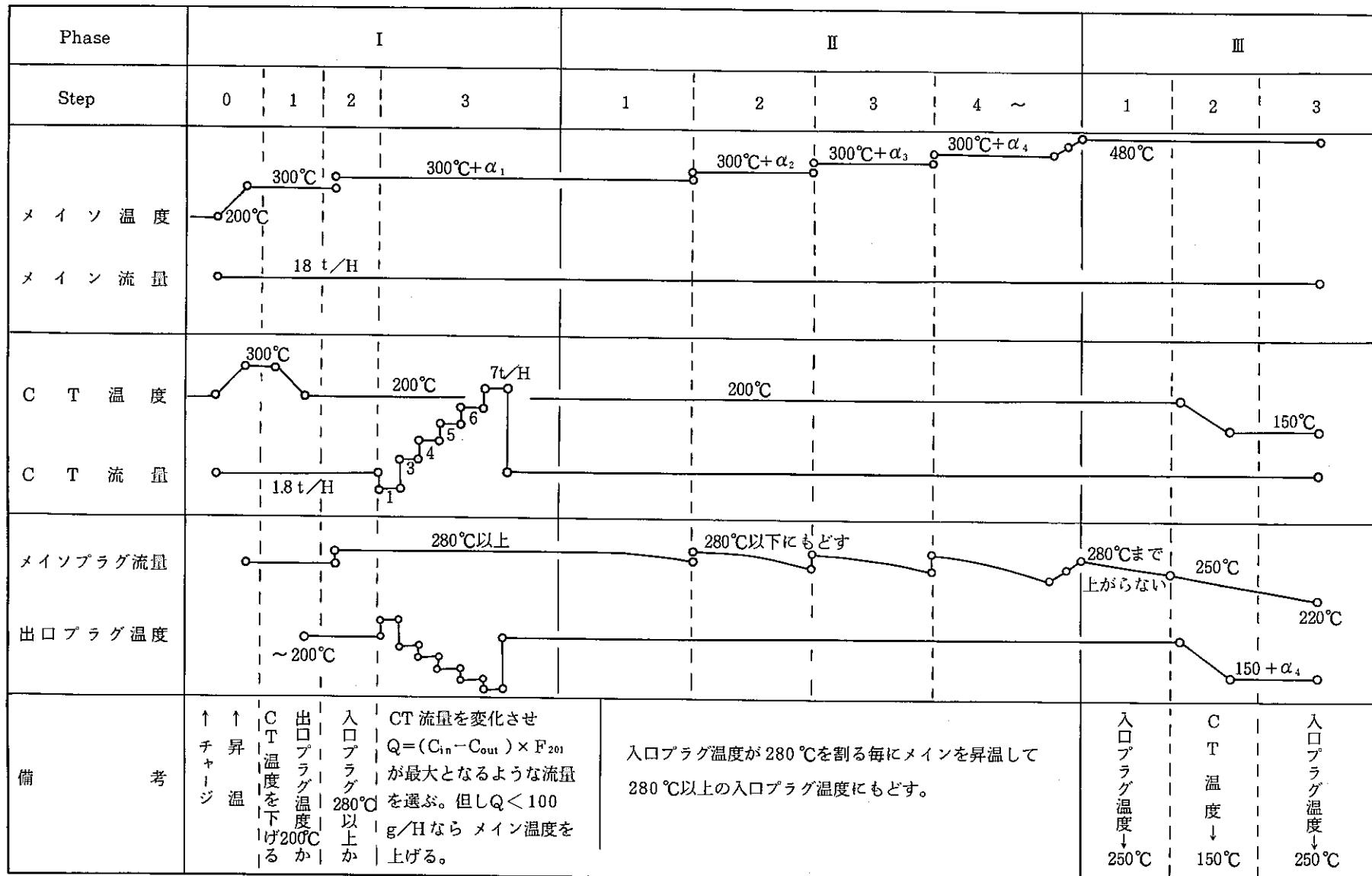


Fig. 2.1.1 RECT-II 運転工程計画

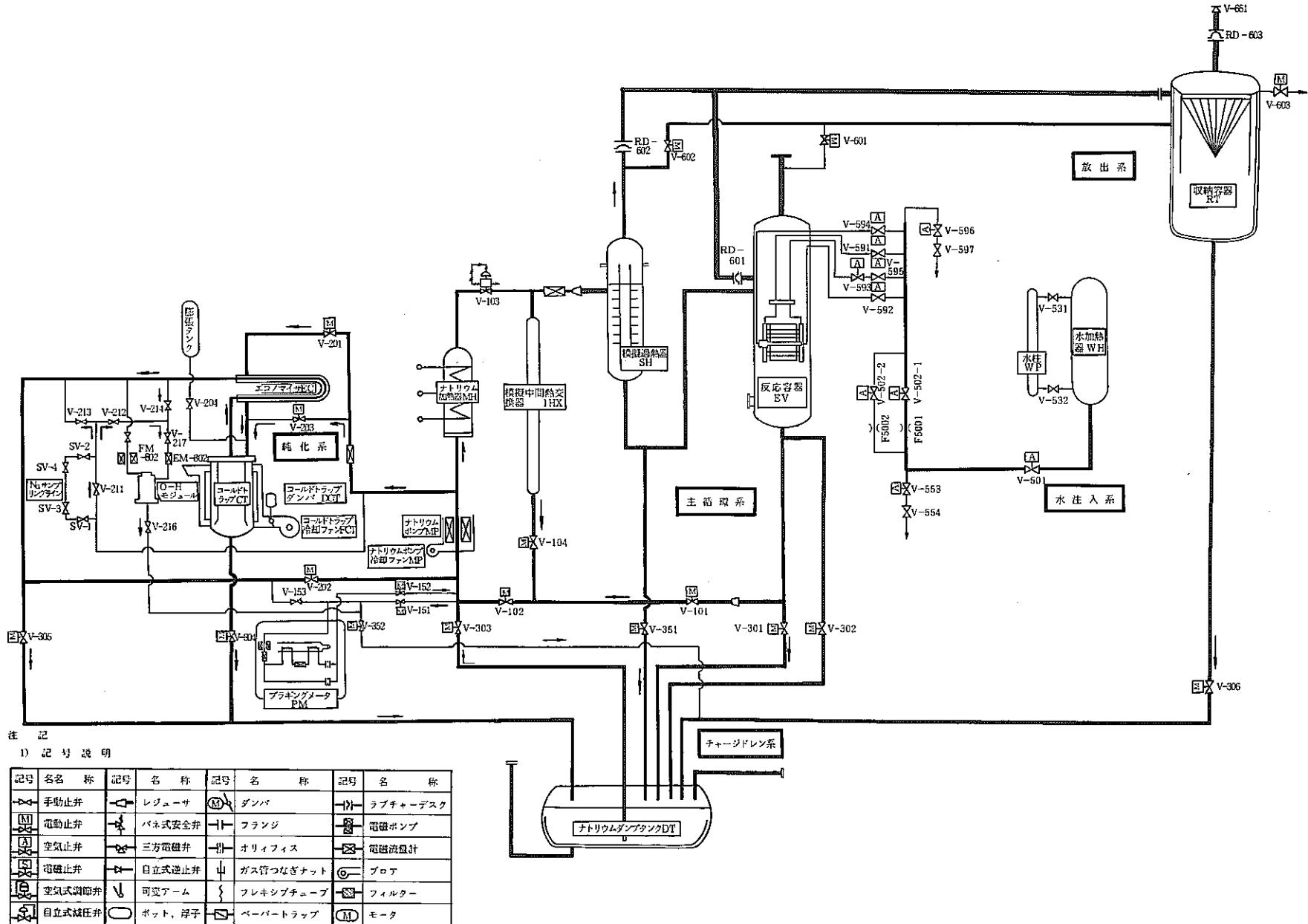


Fig. 2.2.1 SWAT-3 Run 18 のフローシート

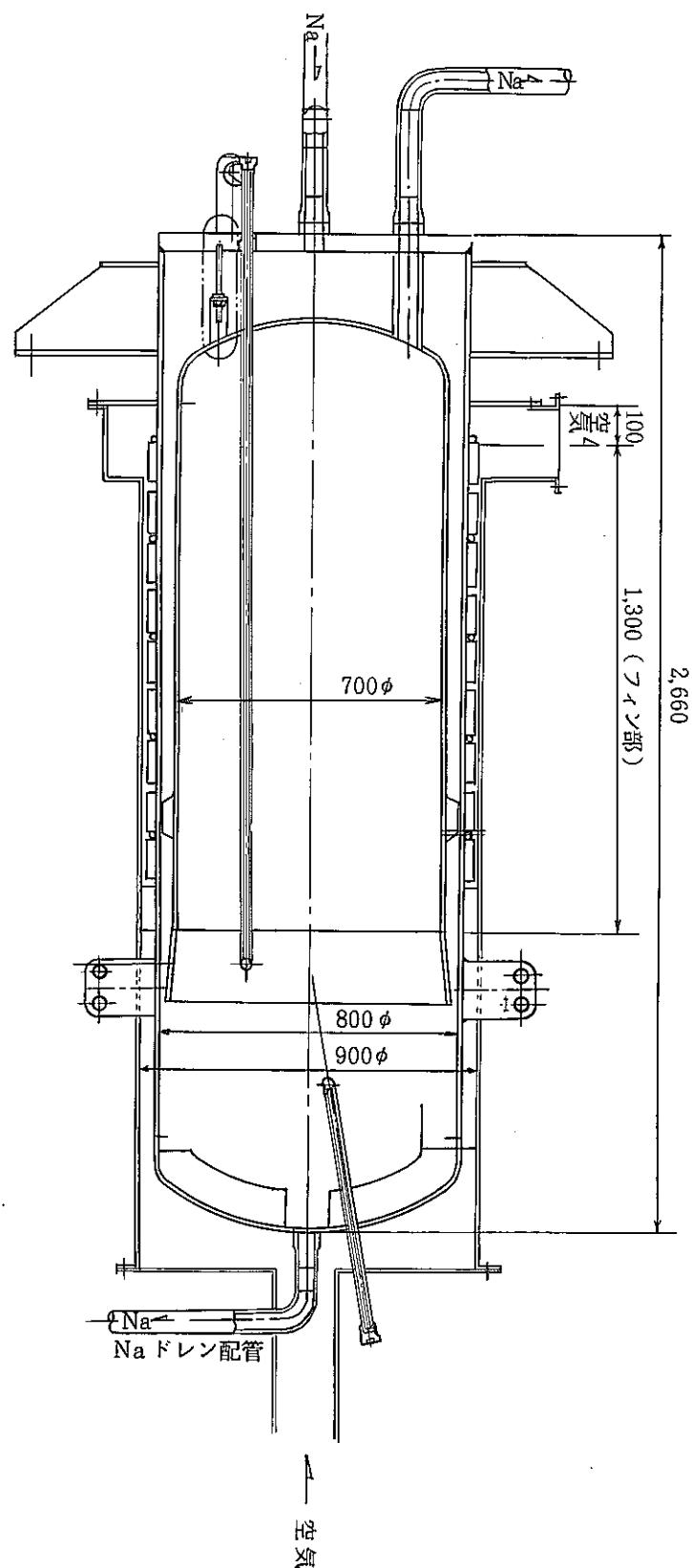
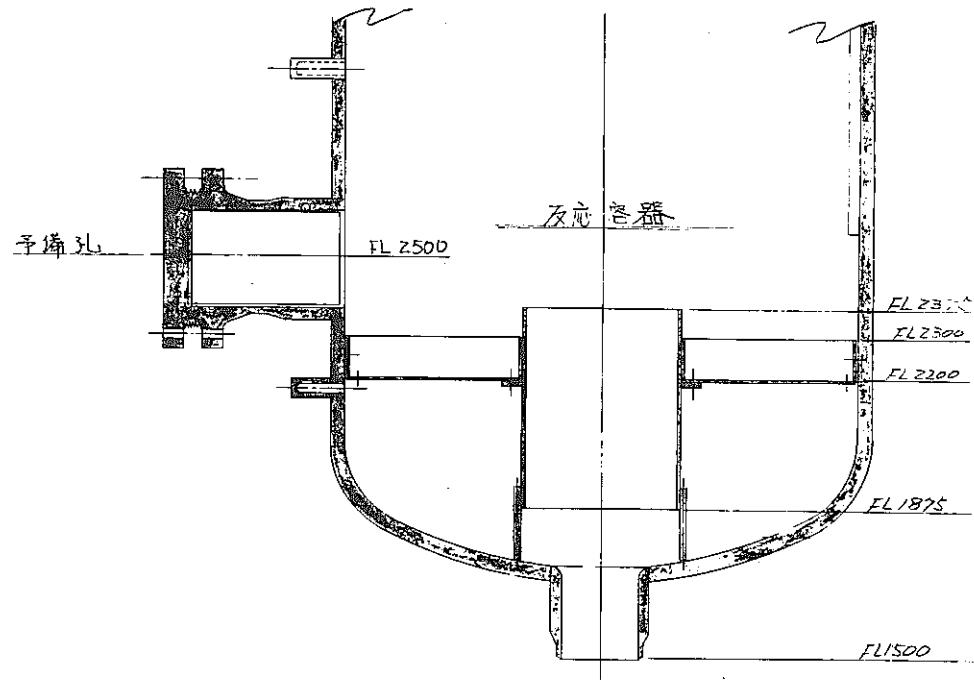
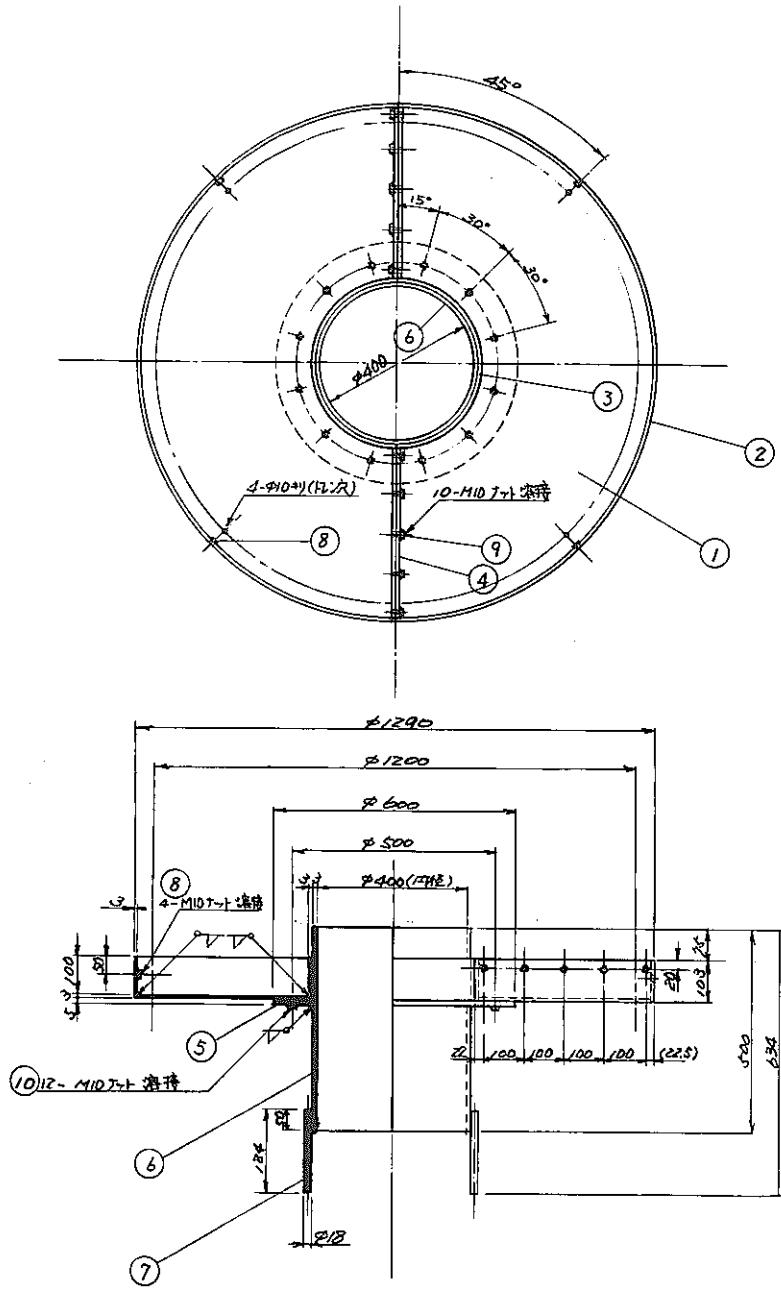


Fig. 2.2.2 コールドトラップ組立図



備考

1) 反応生成物仕切板は二割タブで内部構造物組入前に
反応器に組入する。

2) 反応器蓋への固定は四方の押工木(4×4)半固定とする。

3) 脚取付位置は周方向 3等分位置とする。

Fig. 2.2.3 SWAT-3 Run 18 反応生成物仕切板

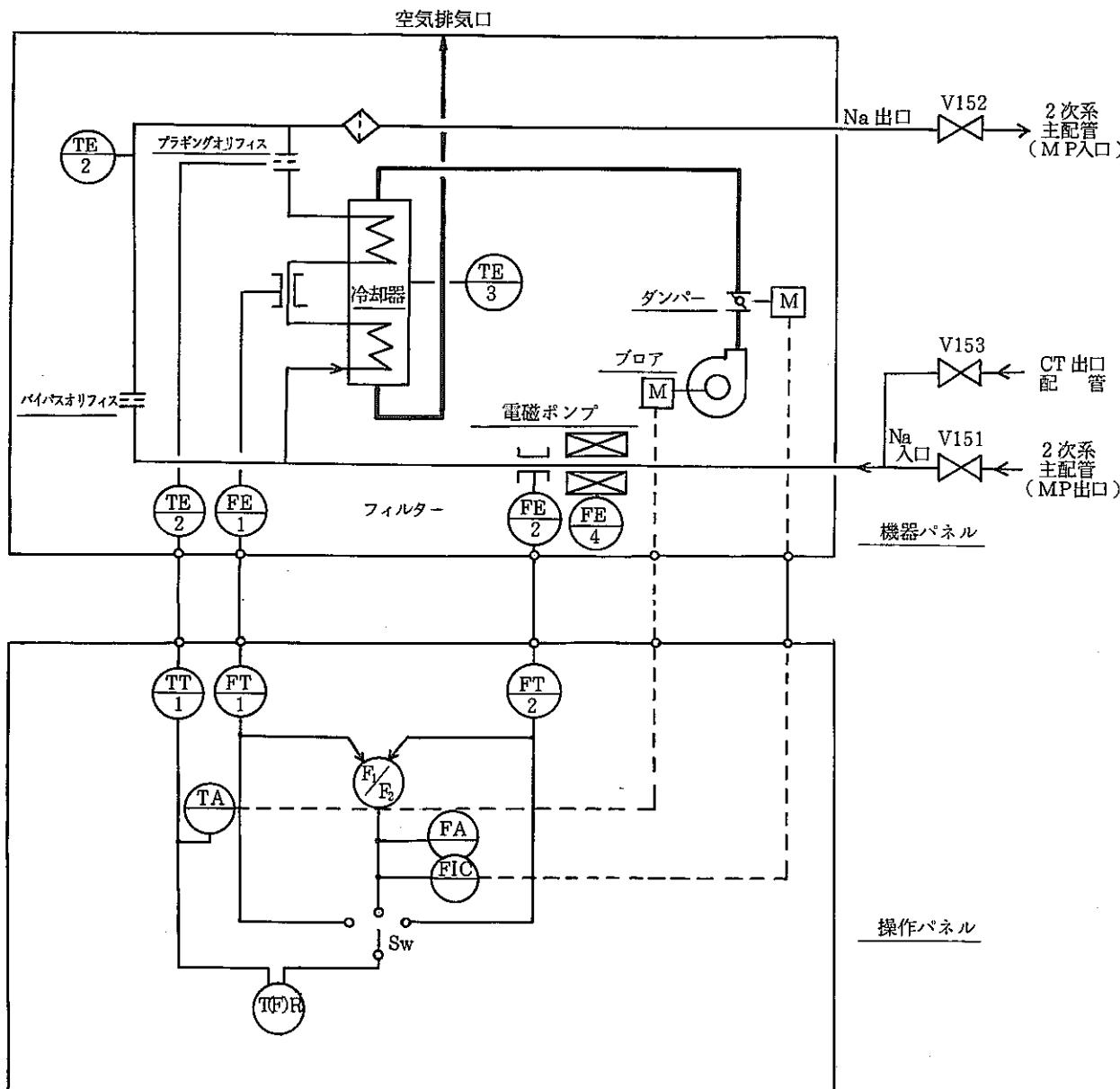


Fig. 2.3.1 PL-CA型プラギング計系統図

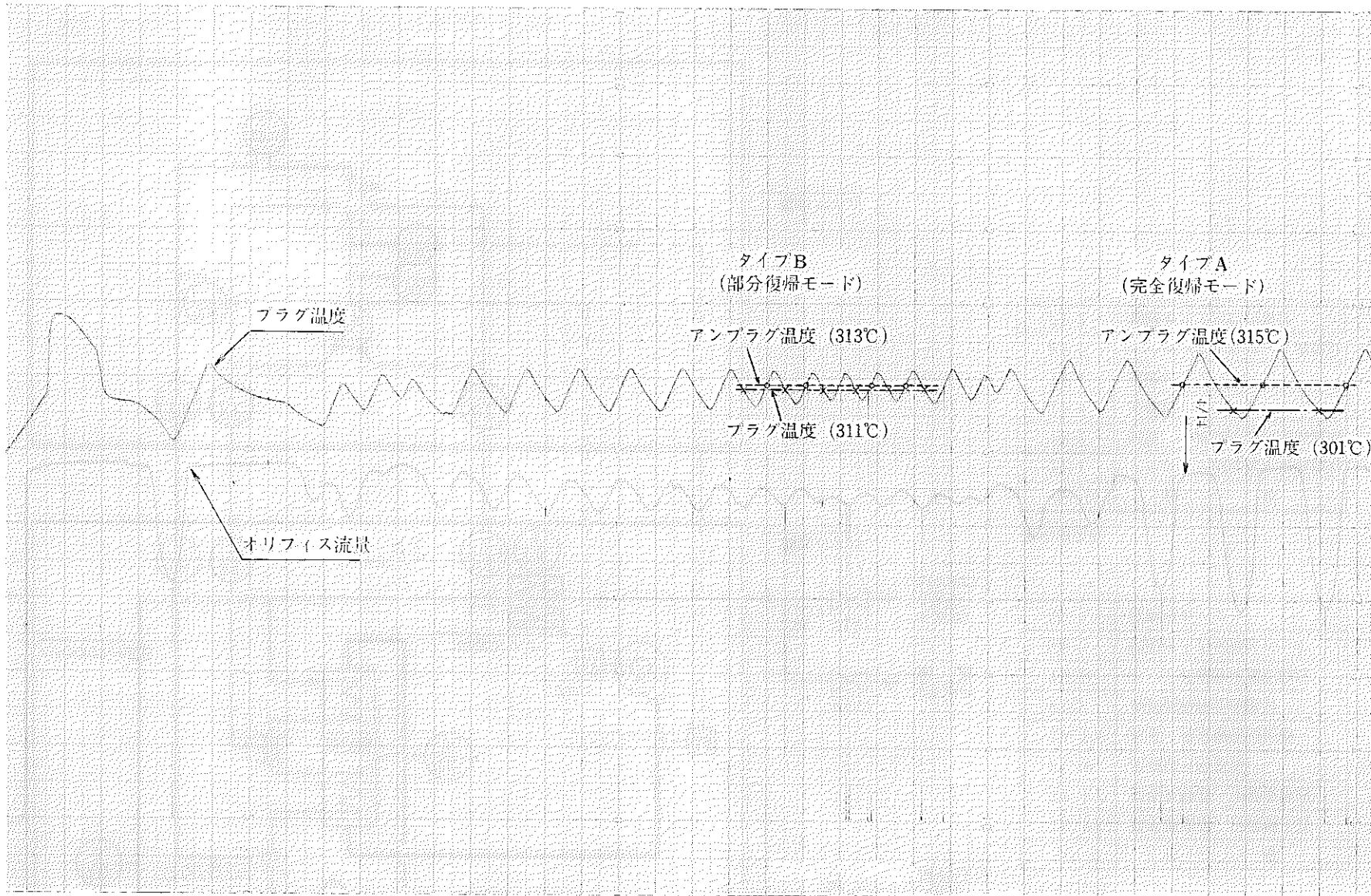


Fig. 2.3.2 振動法によるプラグ温度測定例

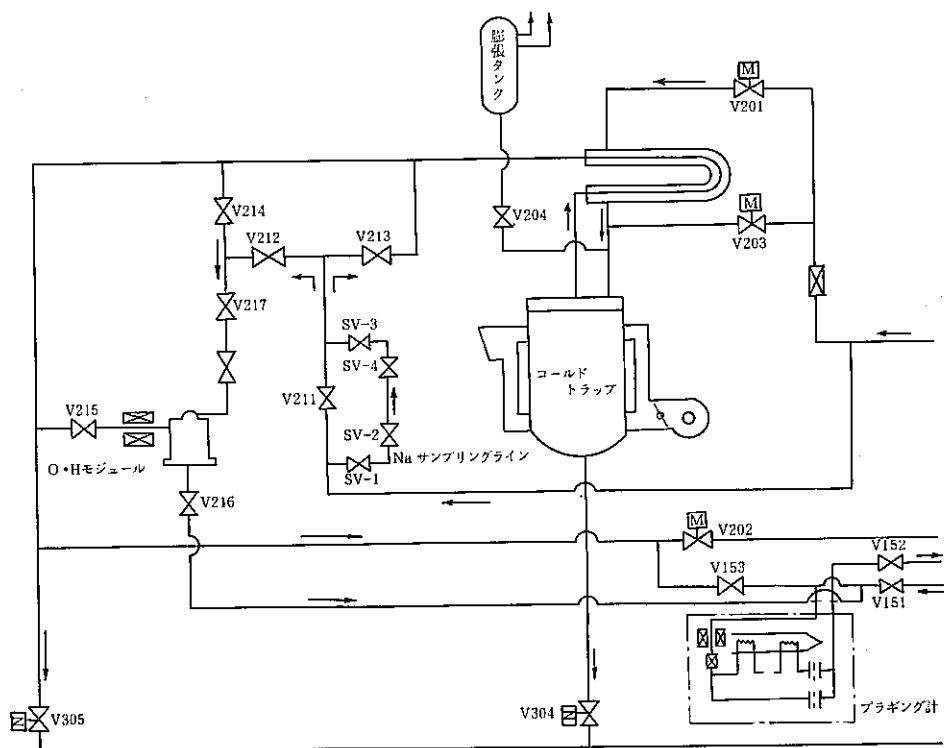


Fig. 2.3.3 Na サンプリングライン

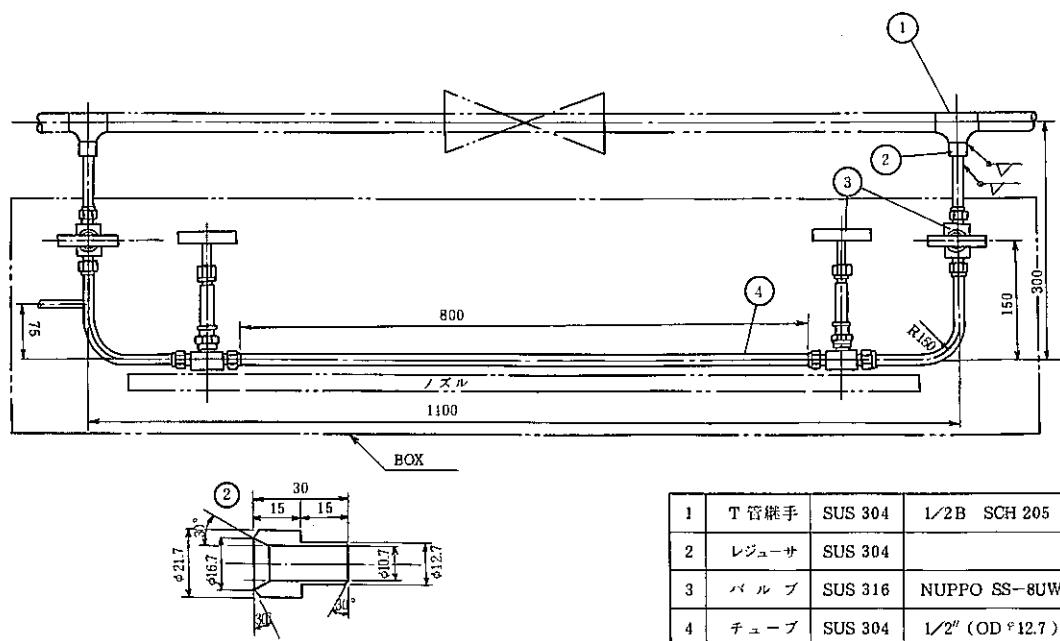
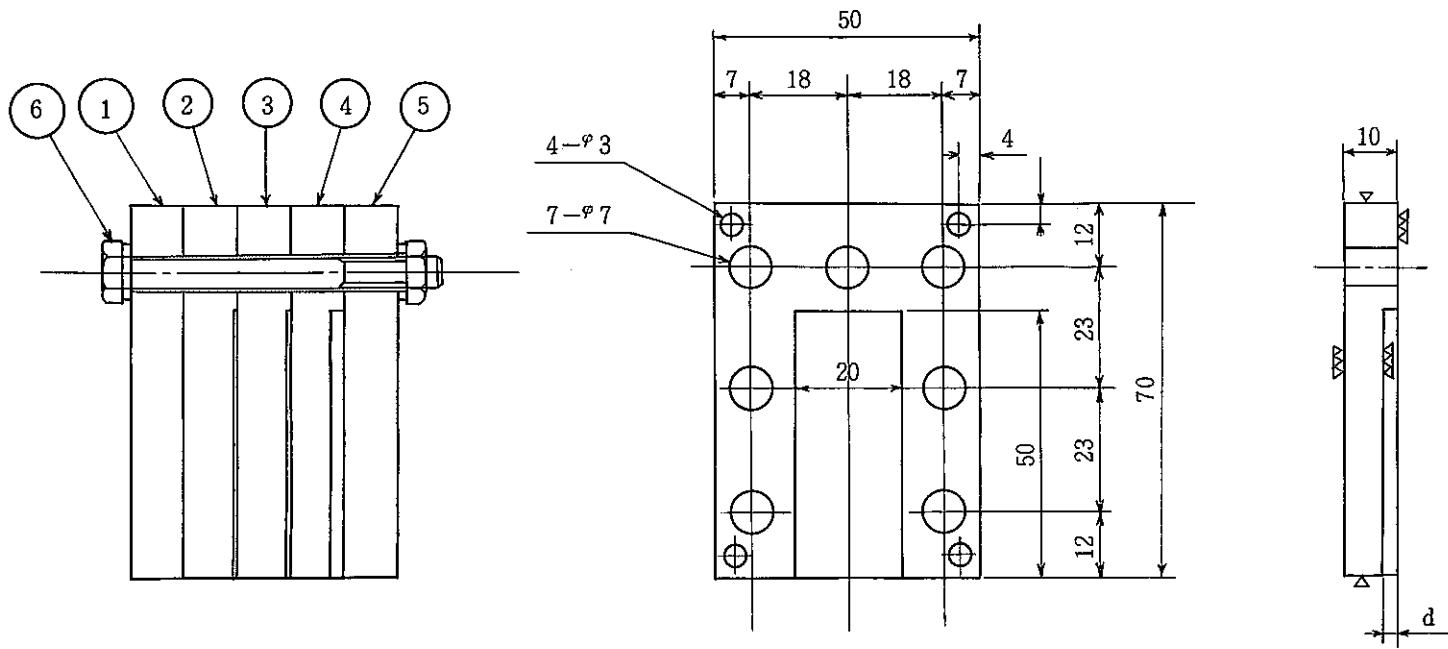


Fig. 2.3.4 ナトリウムサンプリングチューブ



品番	d	公差
(1)	0.1	± 0.05
(2)	0.2	± 0.05
(3)	0.5	± 0.05
(4)	3.0	± 0.05
(5)	0.0	± 0.05

品番	部品名	材質	個数	備考
1	隙間試験体	SUS 304	10本	
2	隙間試験体	SUS 304	10	
3	隙間試験体	SUS 304	10	
4	隙間試験体	SUS 304	10	
5	隙間試験体	SUS 304	10	
6	ボルト・ナット	SUS 304	70	M 6 × P 1.0 × 60 (中)ダブルワッシャー

Fig. 2.3.5 隙間試験体組立図

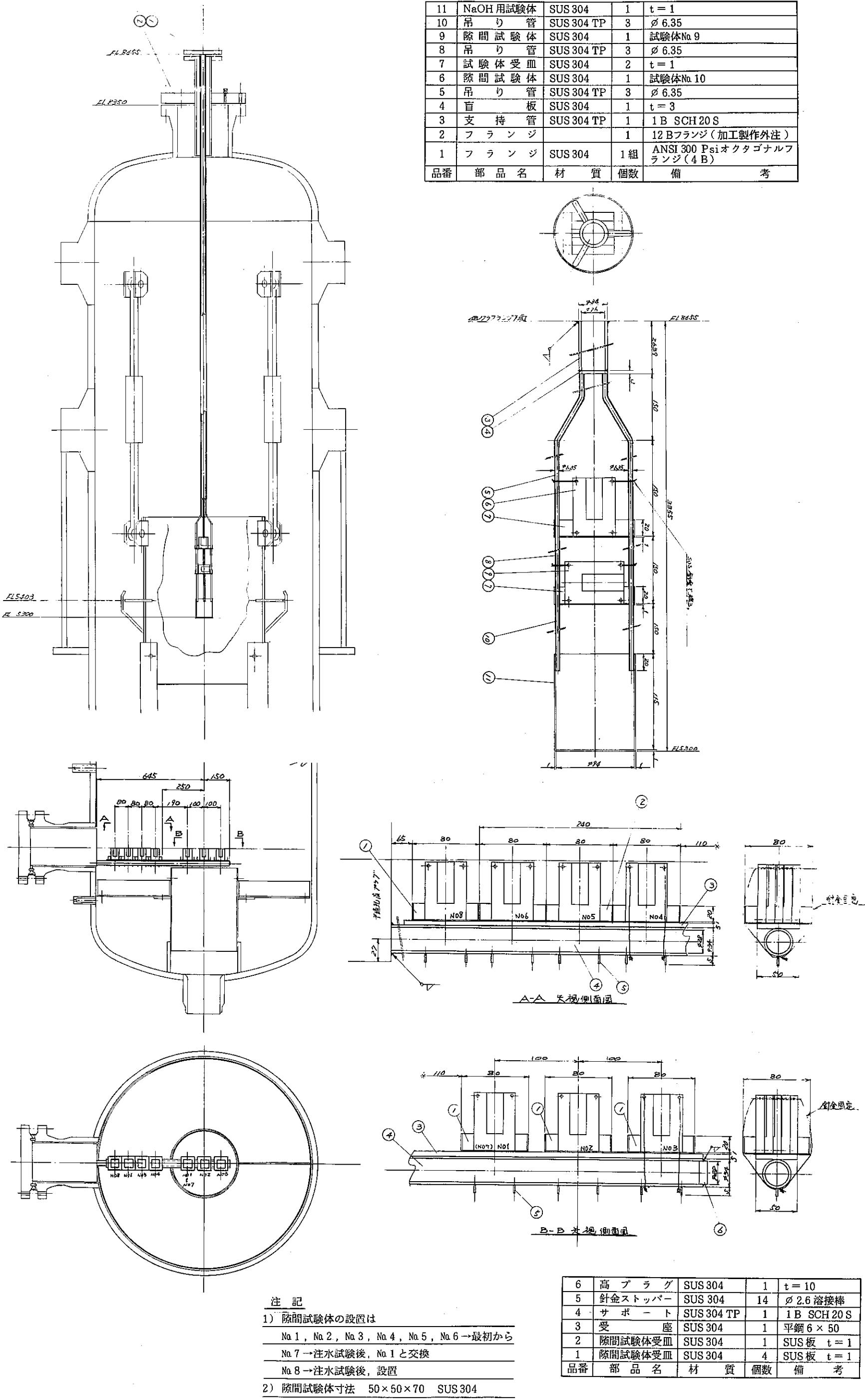


Fig. 2.3.6 反応容器内隙間試験体仕切板の設置

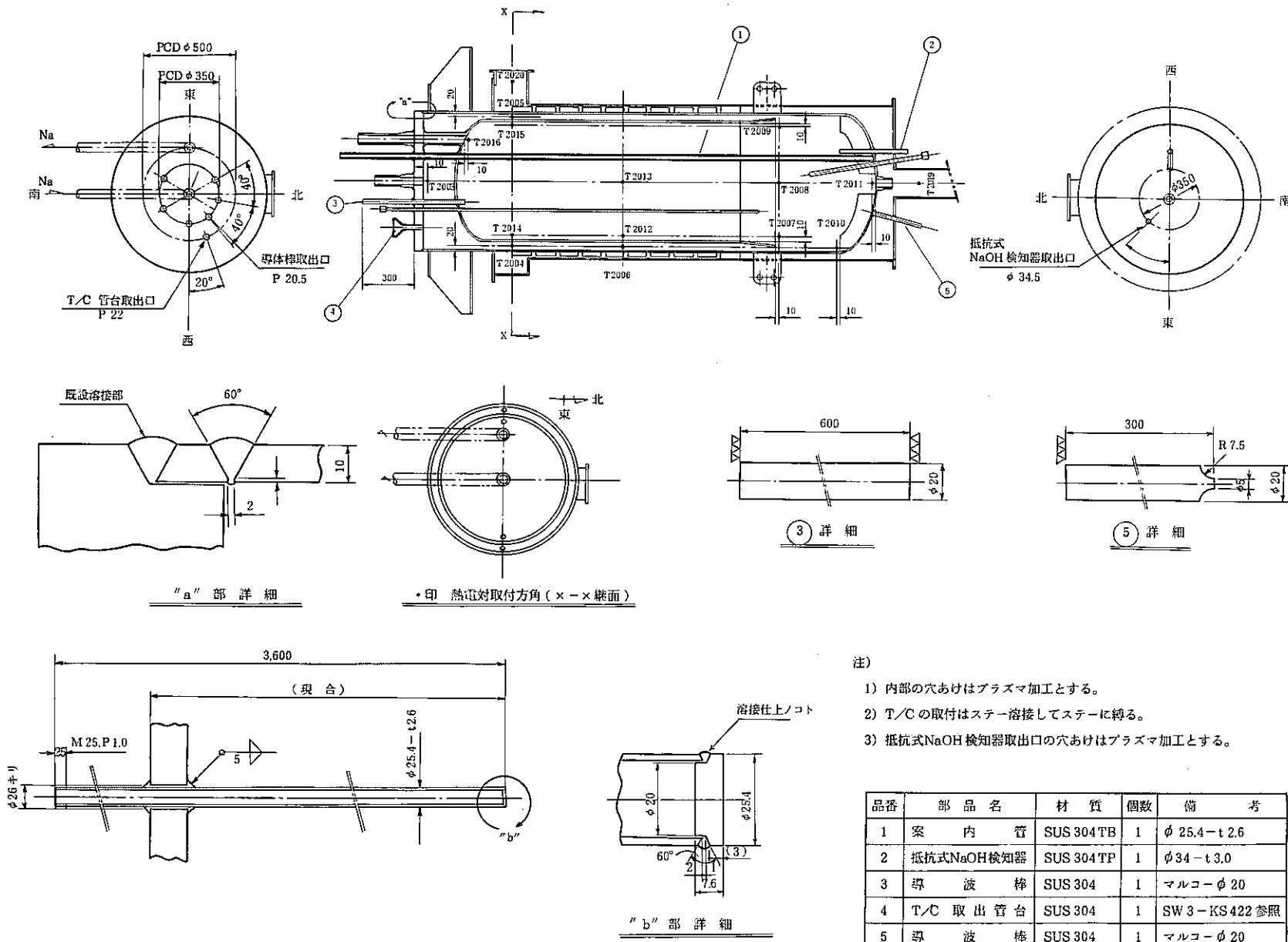
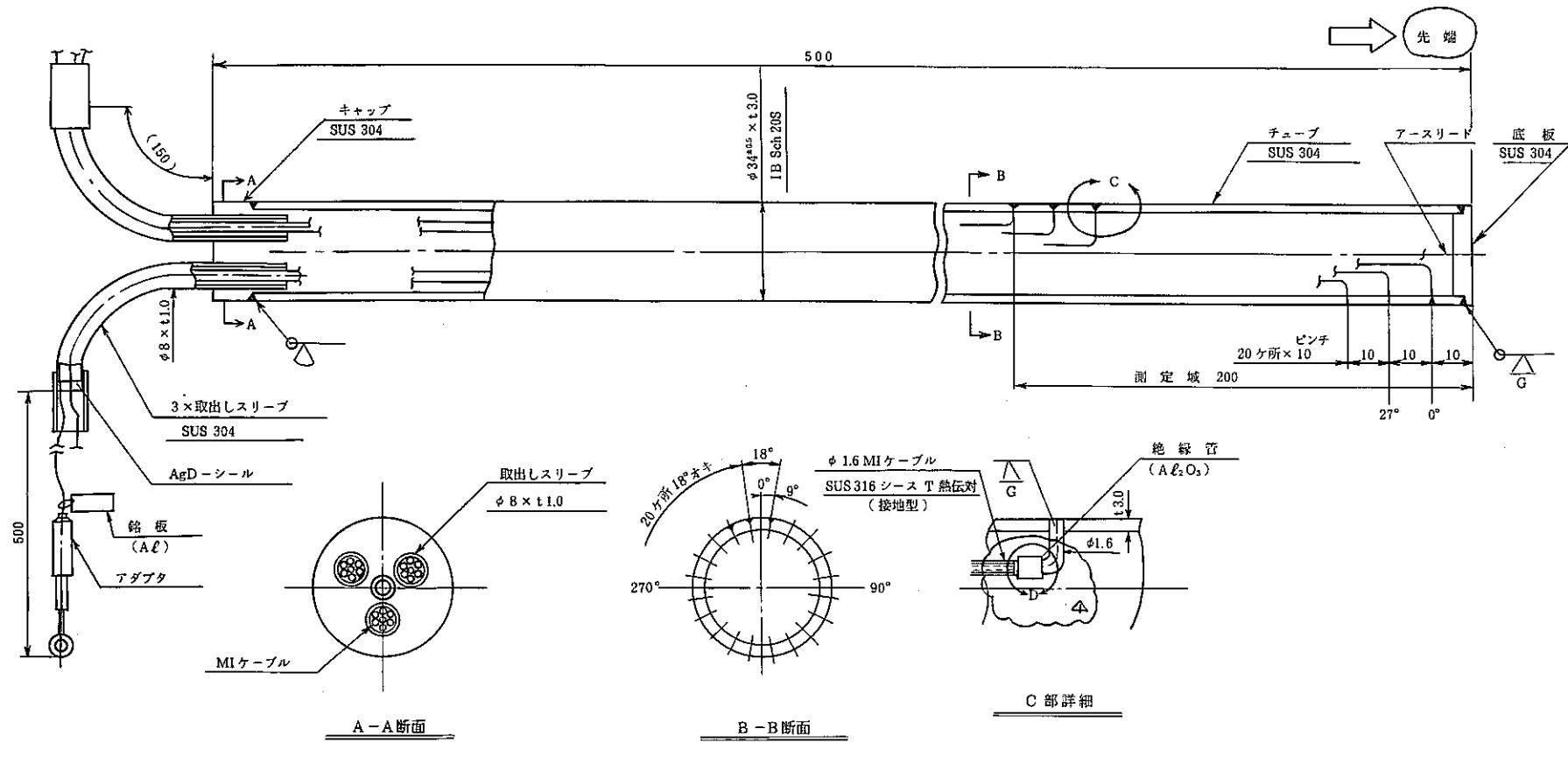


Fig. 2.3.7 CT 内熱電対配置図

設計条件

1. 設計温度 400 °C

2. 設計圧力 5 kg/cm²G (外圧)

3. 使用液体 Na 及び NaOH

Fig. 2.3.8 抵抗式液面計

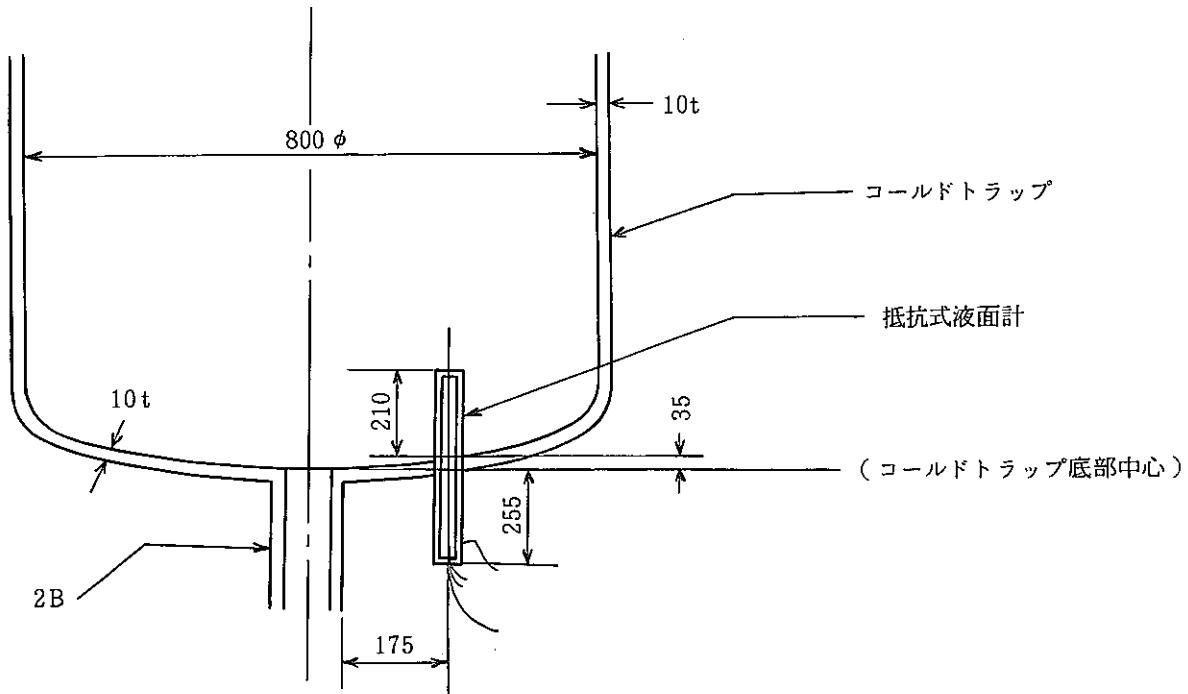


Fig. 2.3.9 抵抗式液面計据付図

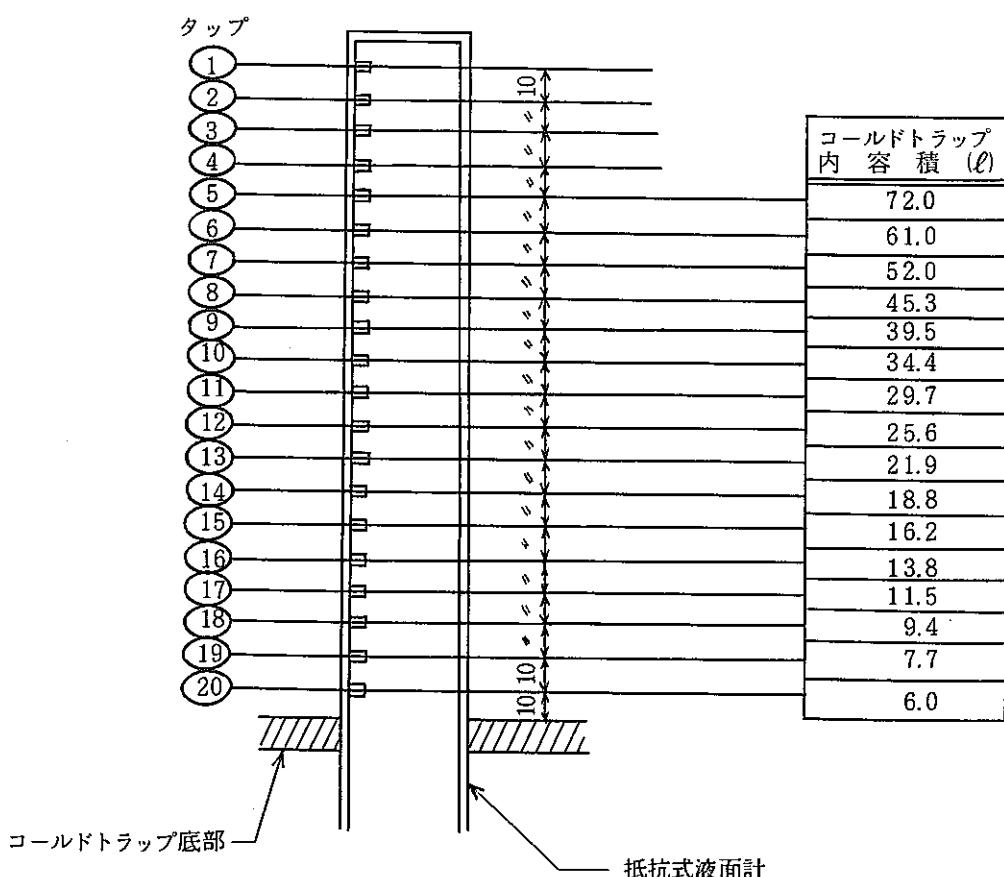


Fig. 2.3.10 抵抗式液面計寸法—コールドトラップ内容積の関係

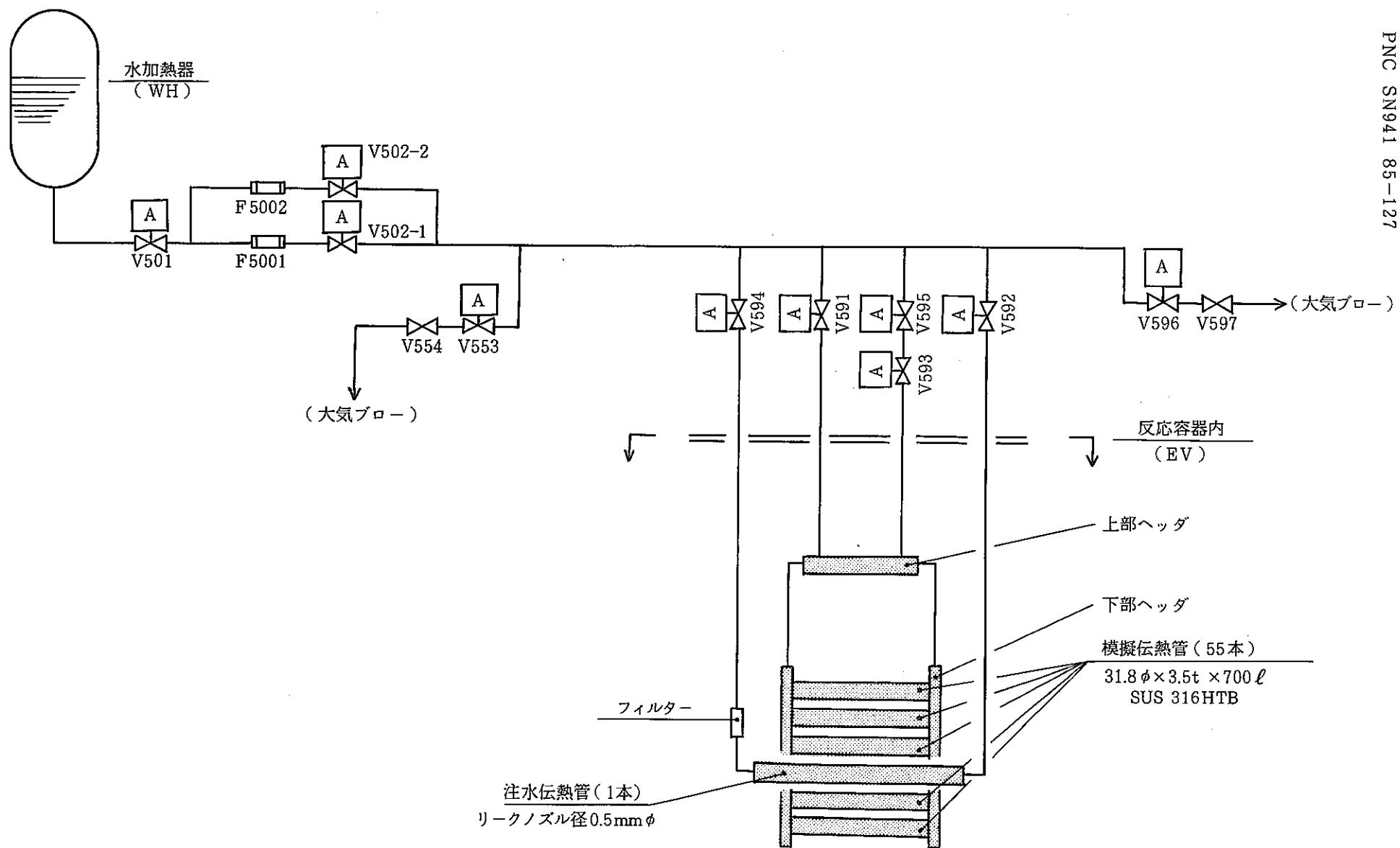


Fig. 2.4.1 SWAT-3 Run 18 注水ラインフローシート

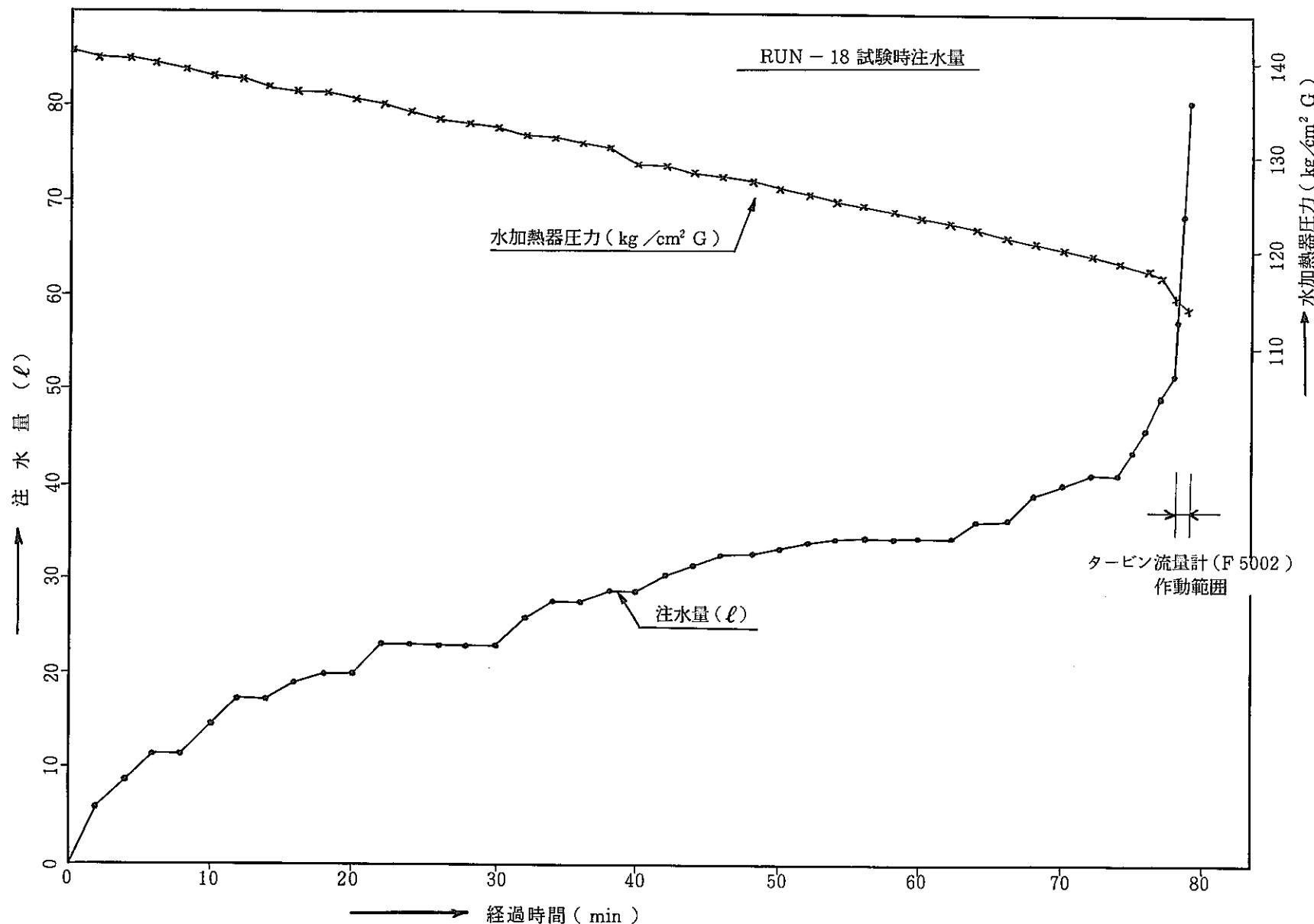


Fig. 2.4.2 The Amount of Injected Water and Water Heated pressure

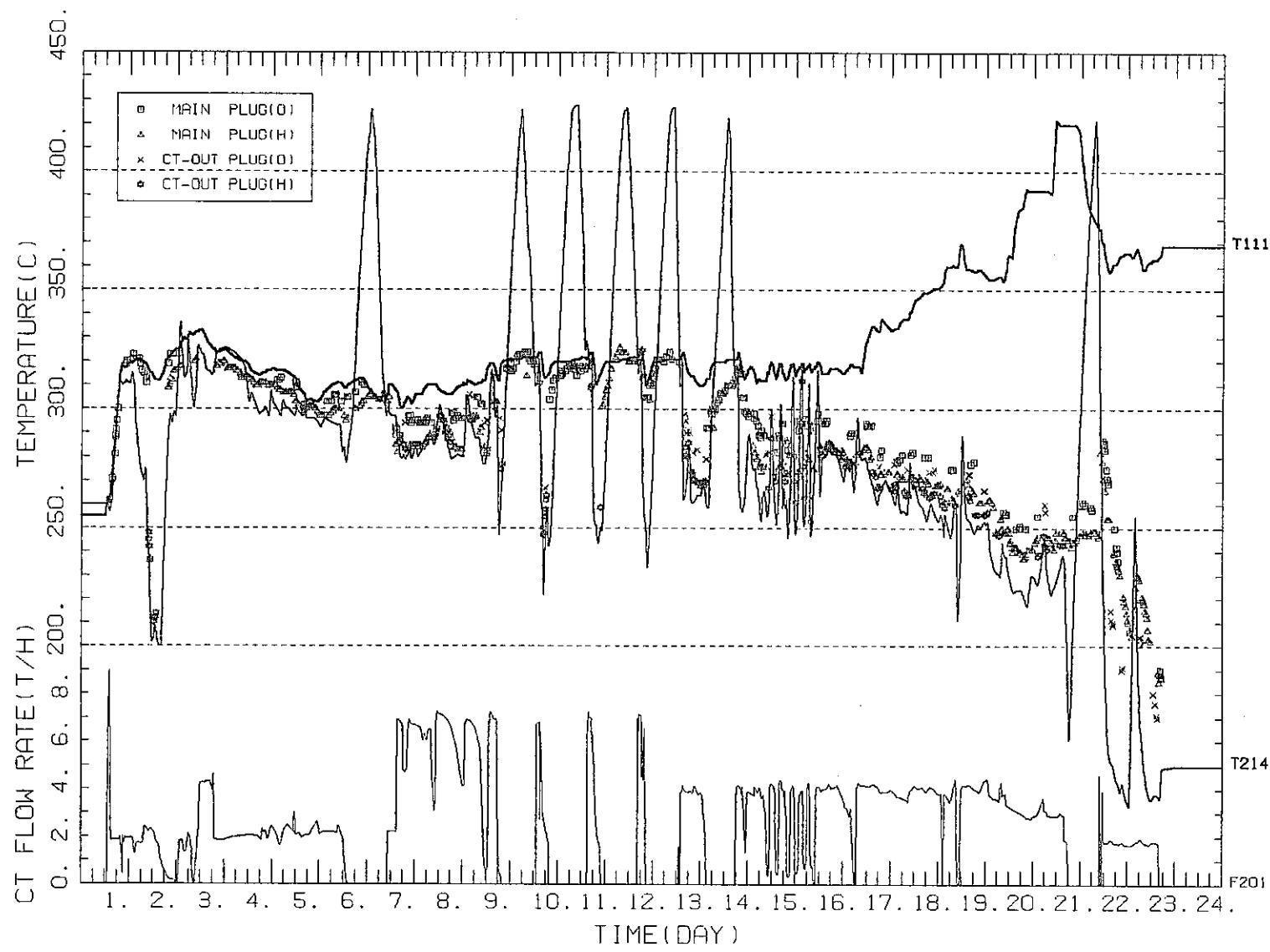


FIGURE 3.1.1 HISTORY OF TEMPERATURES IN SWAT - 3 RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

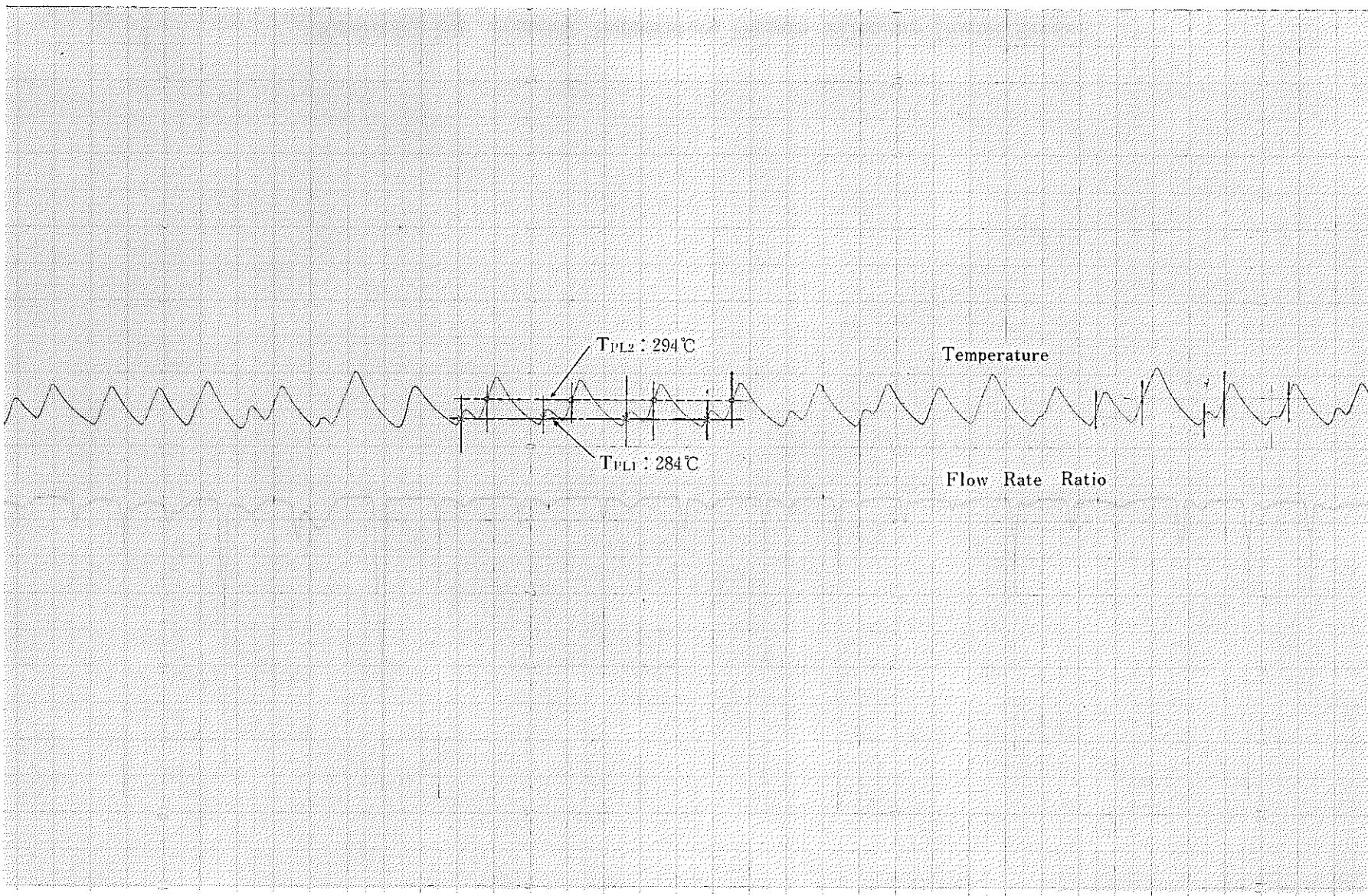


Figure 3.2.1(a) Plugging Temperature Feature (Obvious Double Break)

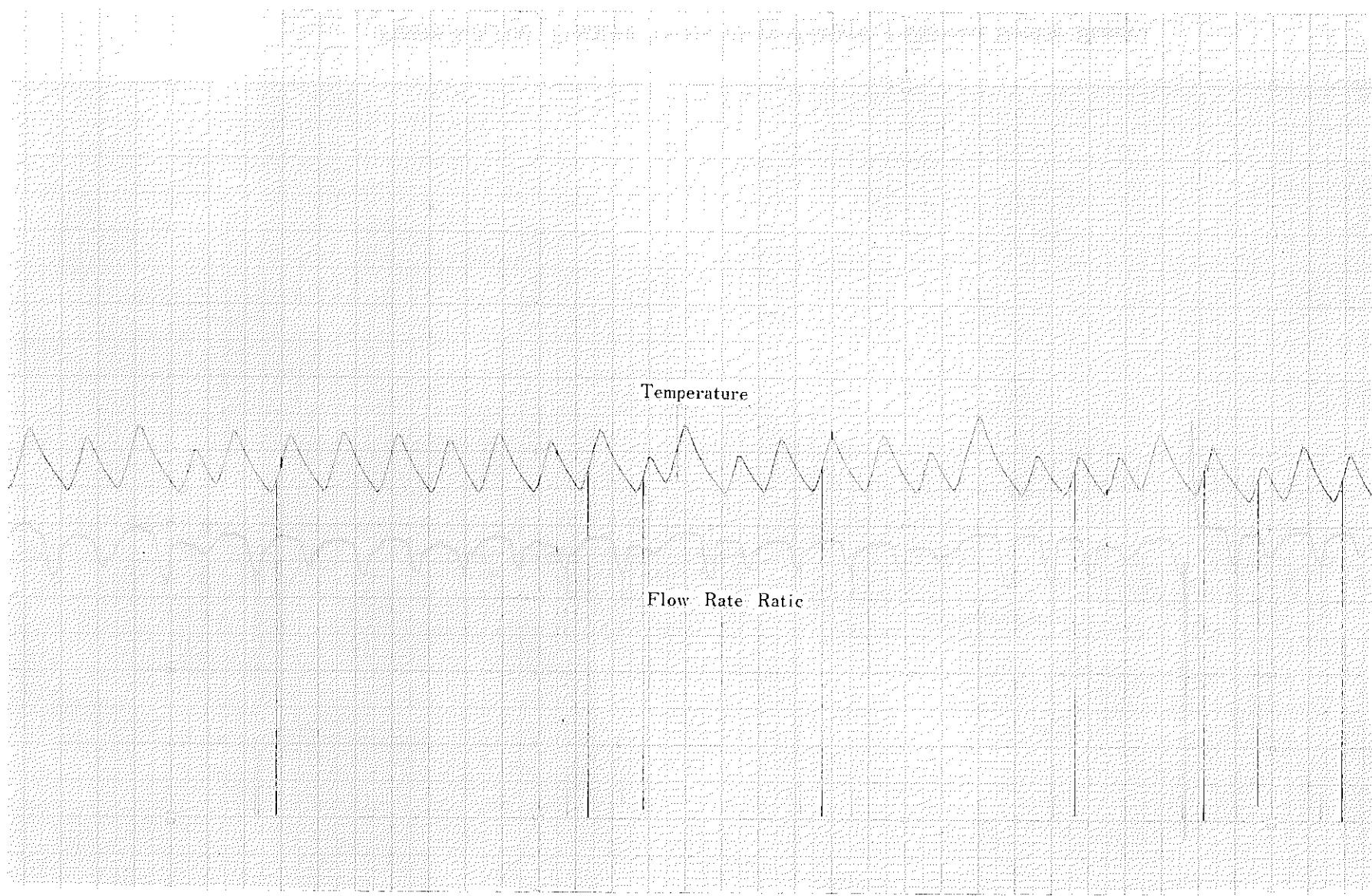


Figure 3.2.1(b) Plugging Temperature Feature (Obscure Double Break)

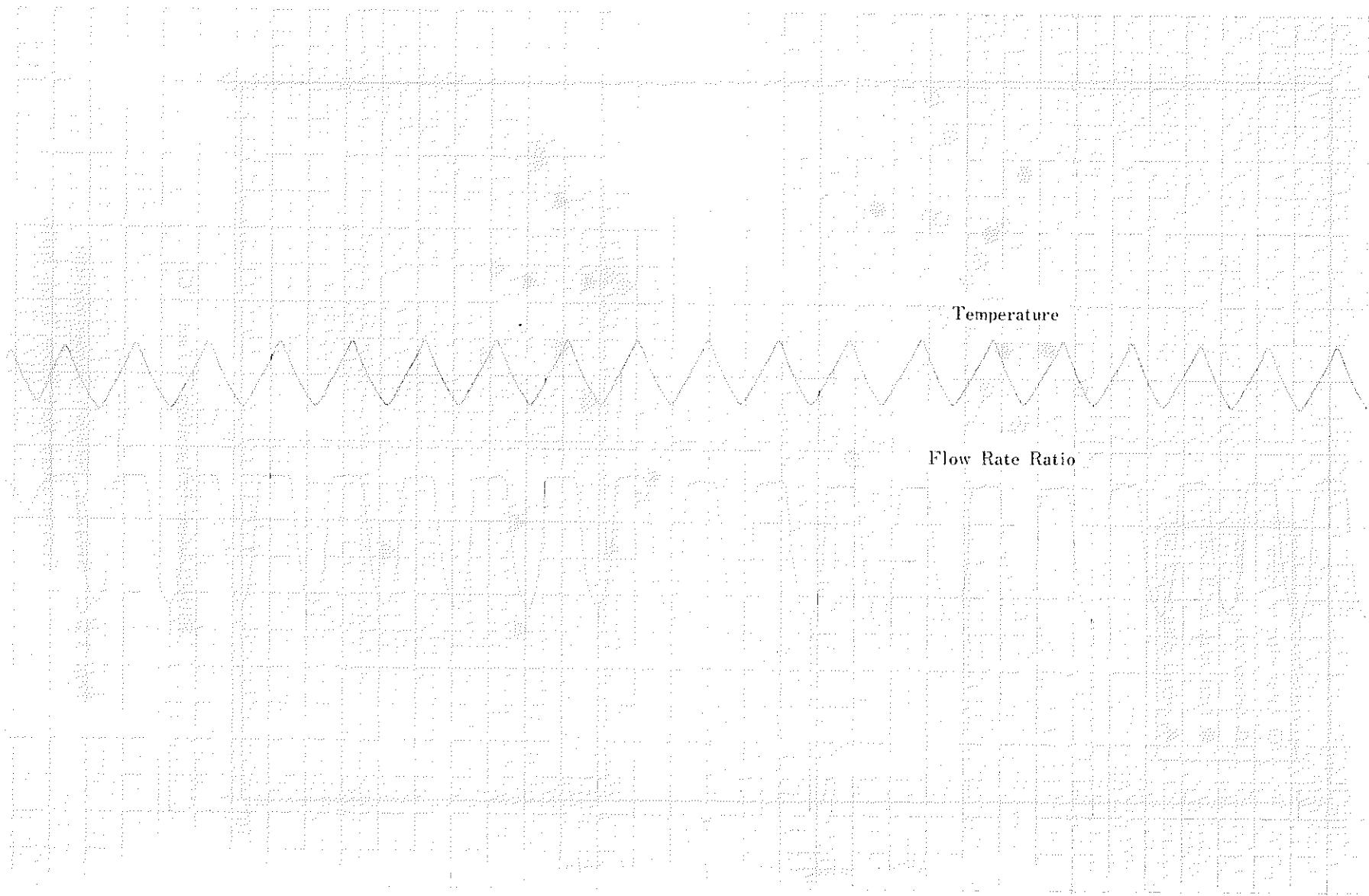


Figure 3.2.1(c) Plugging Temperature Feature (Single Break)

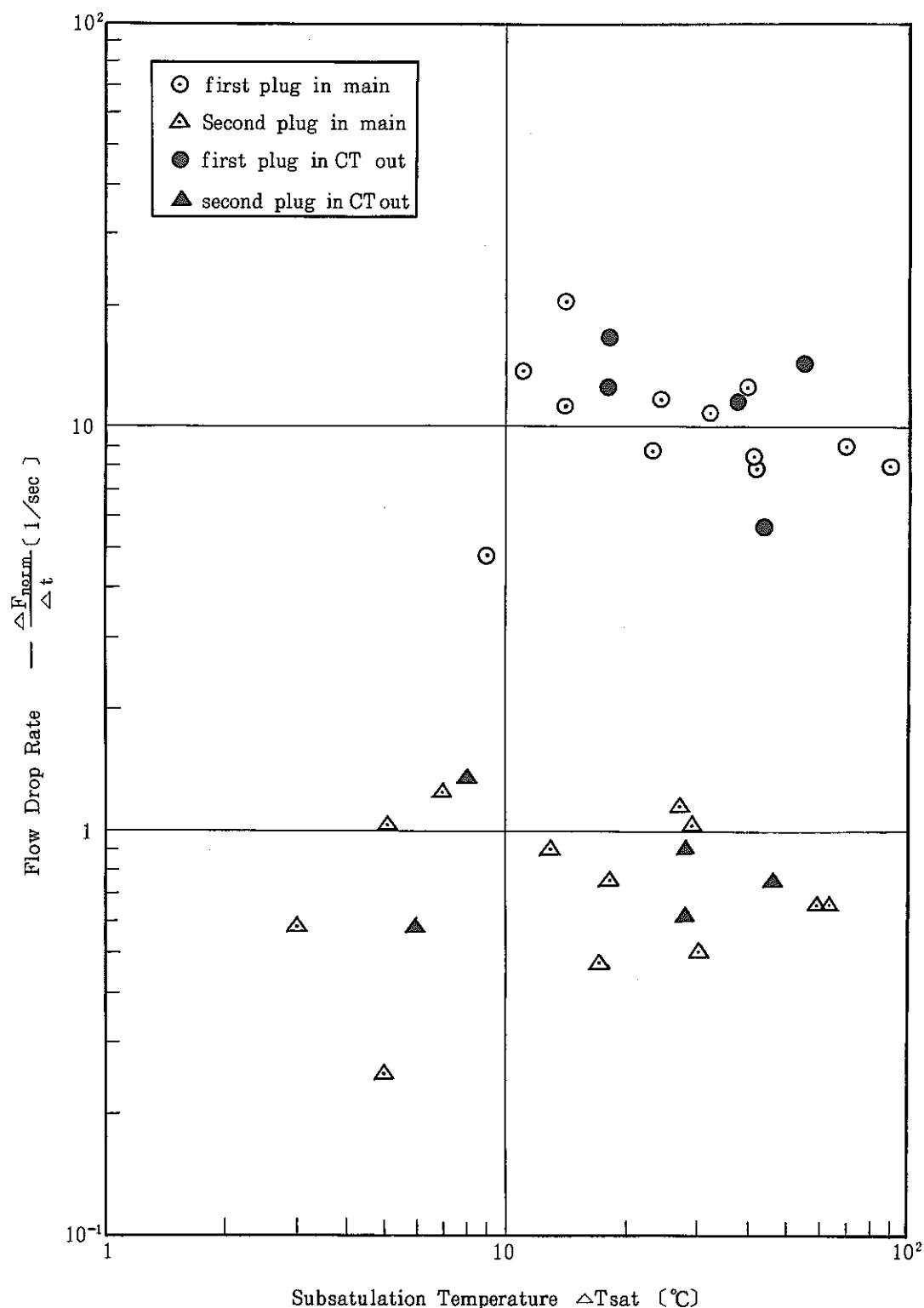
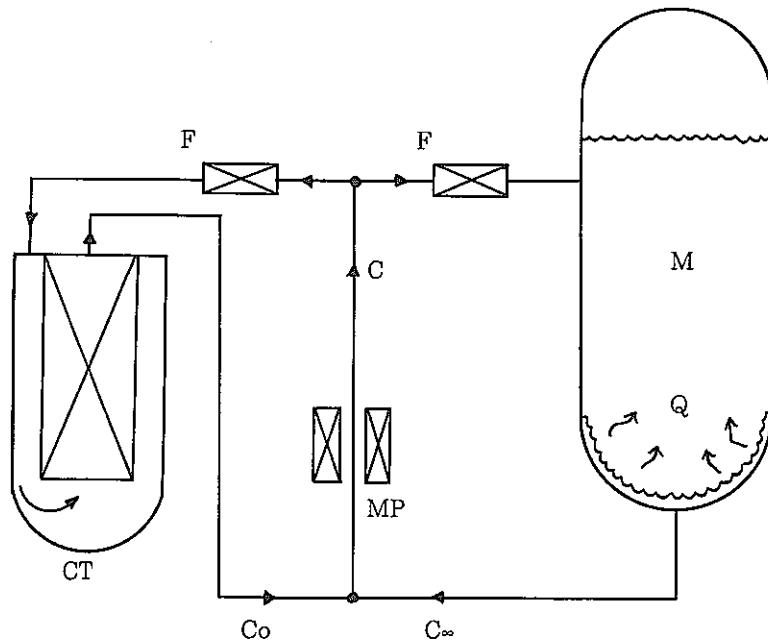


Fig. 3.2.2 Relation between Subsaturation Temperature and Flow Drop Rate



$$M \frac{dC_{\infty}}{dt} = -F_{CT} (C_i - C_o) + KS (C_{sat} - C_{\infty})$$

但し C_{sat} : 2次系ナトリウム温度に対する不純物飽和温度 [-]

C_{∞} : 2次主配管中の不純物濃度 [-]

C_i : CT入口での [-]

$$\text{但し } C_i = \frac{F_{CT} \cdot C_o + F_{\infty} \cdot C_{\infty}}{F_{CT} + F_{\infty}}$$

C_o : CT出口での不純物濃度

M : 全系のナトリウム質量 [kg]

F : 2次主配管ナトリウム流量 [kg/sec]

F_{CT} : コールド・トラップ流量 [kg/sec]

Q : 溶解率 [kg/sec]

$$\text{但し } Q = KS (C_{sat} - C_{\infty})$$

K : 質量移動係数 [kg/(m²·sec)]

S : 反応生成物表面積 [m²]

Fig. 3.2.3 純化運動モデル

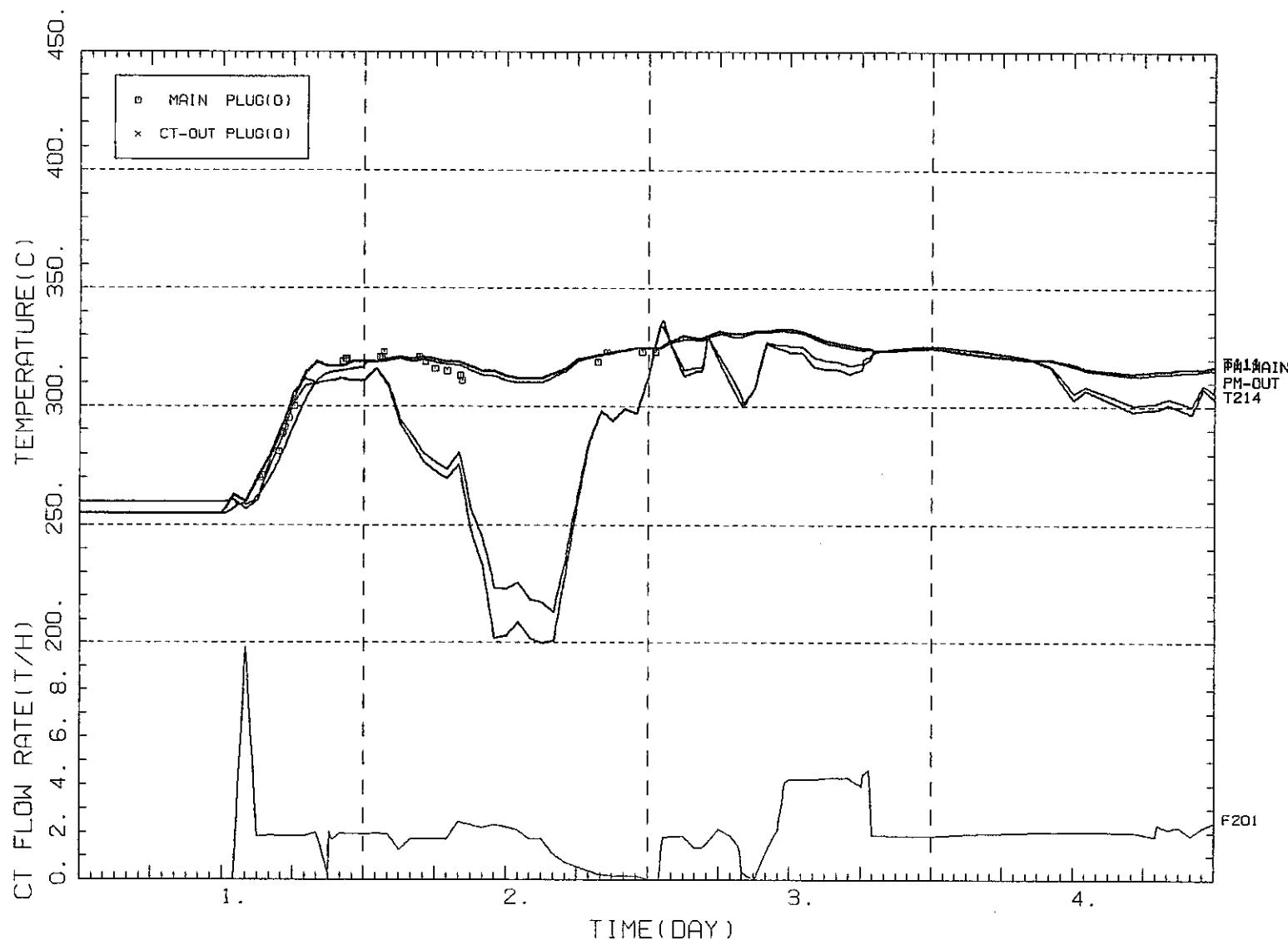


FIGURE 3.2.4(a) OXYGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

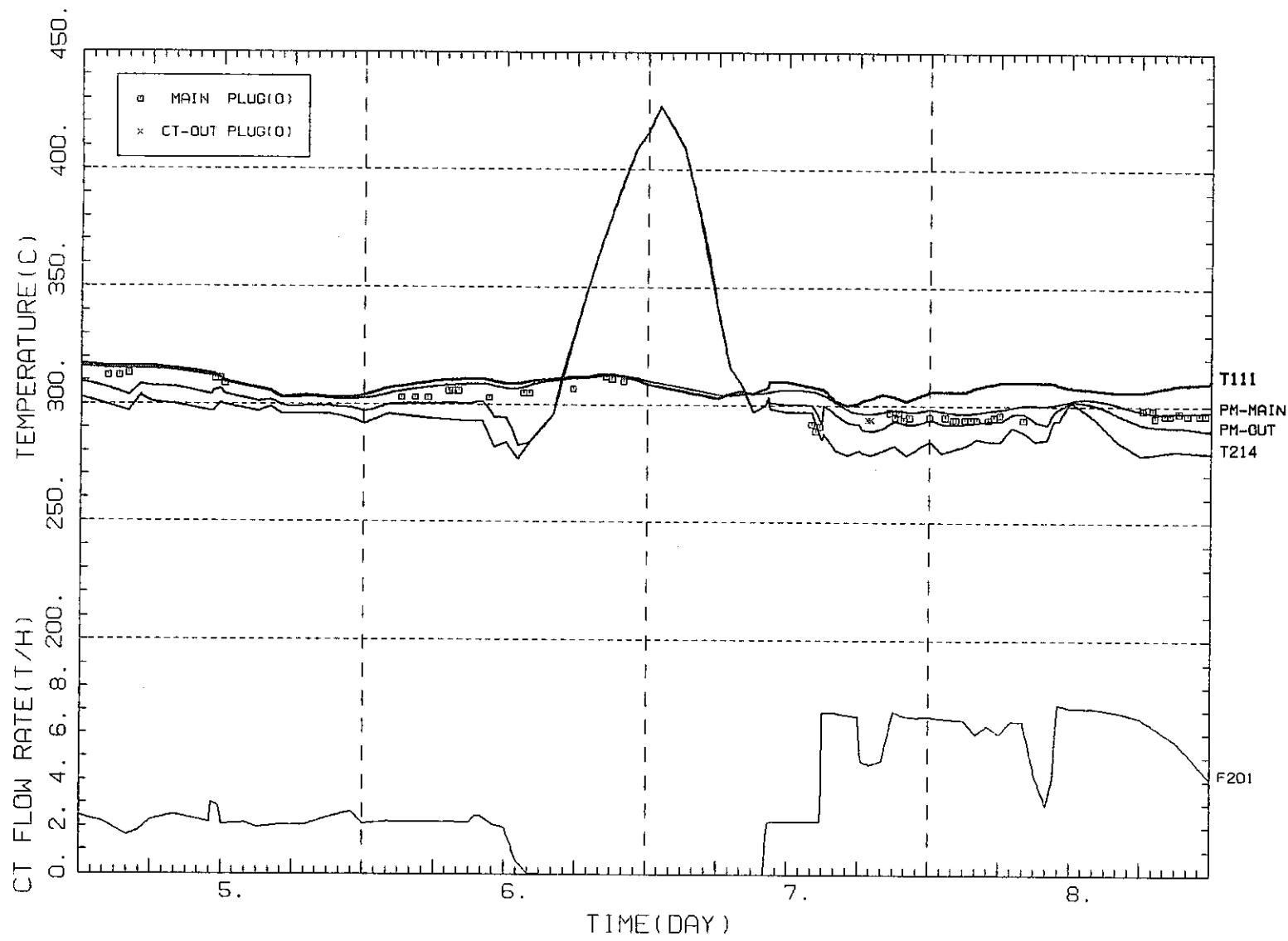


FIGURE 3.2.4(b) OXYGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

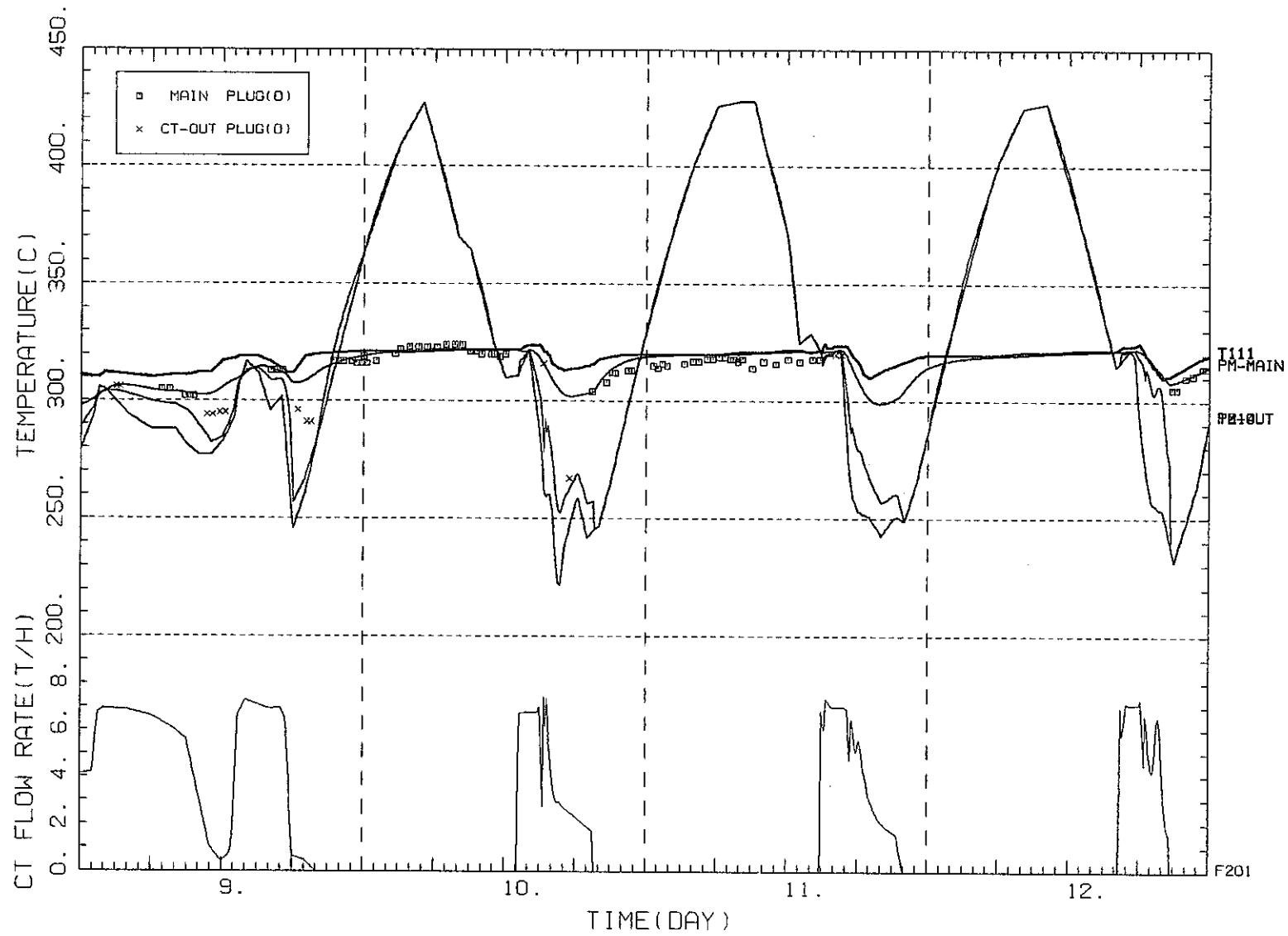


FIGURE 3.2.4(c) OXYGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

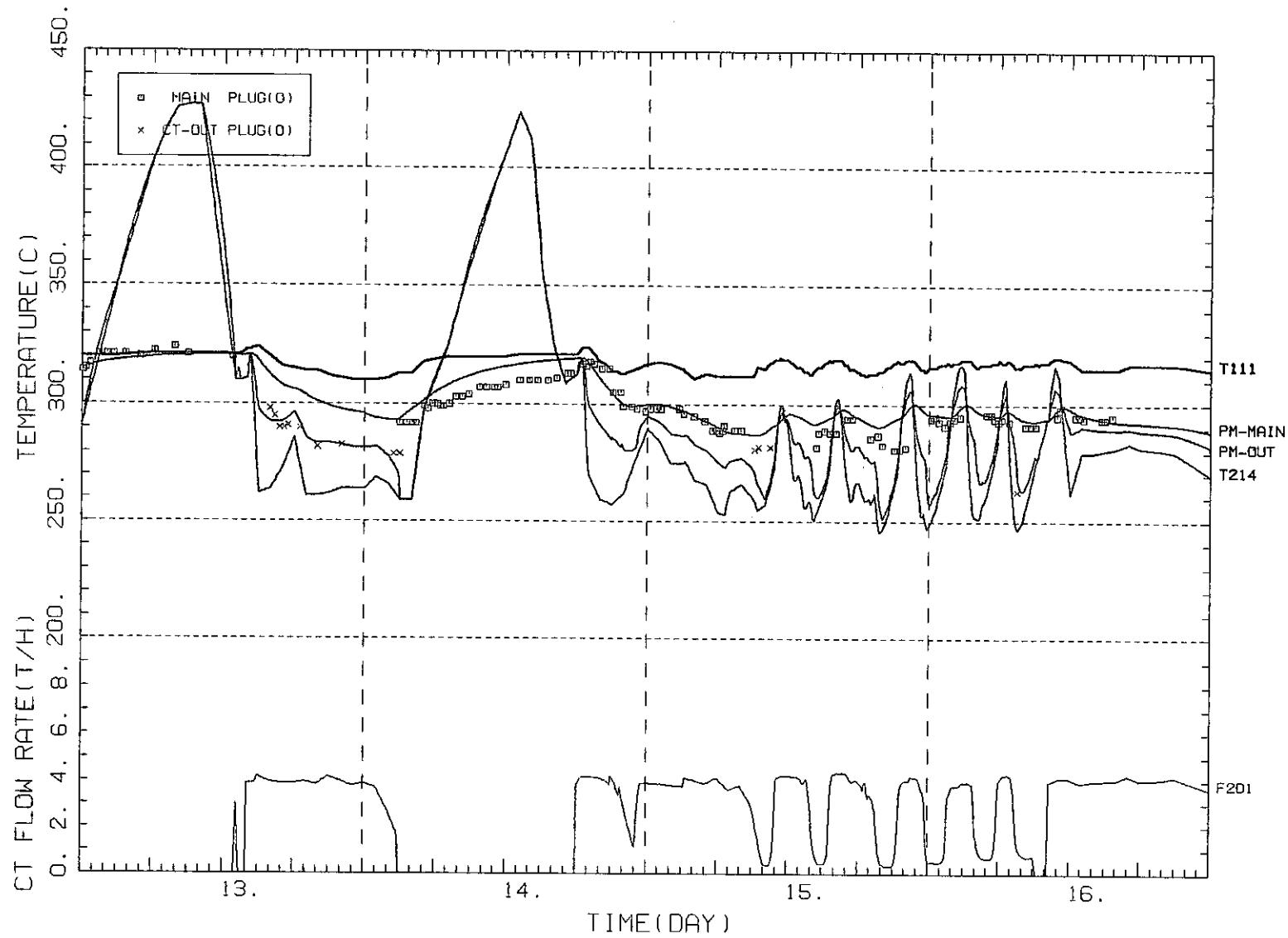


FIGURE 3.2.4(d) OXYGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

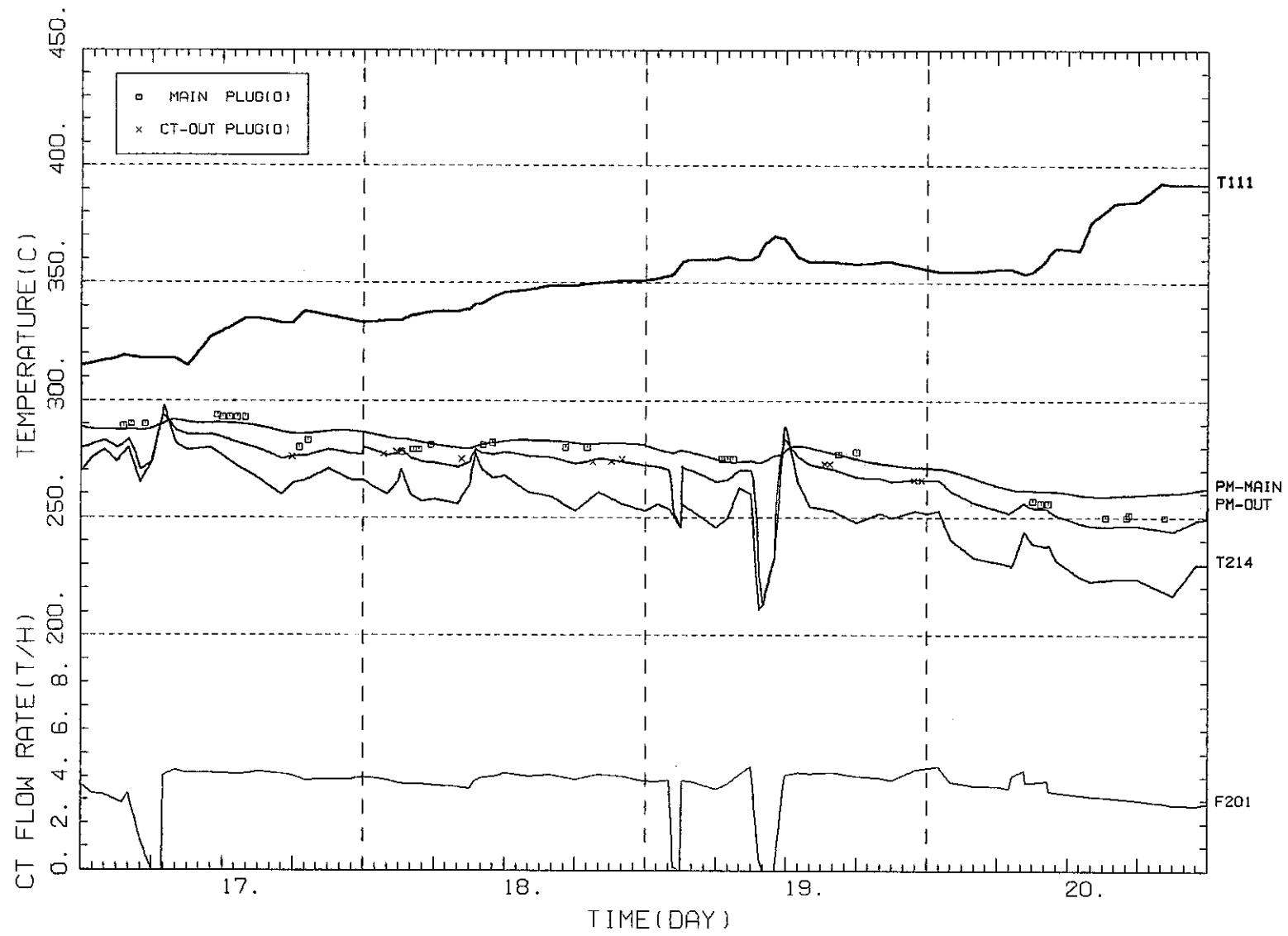


FIGURE 3.2.4(e) OXYGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

- 17 -

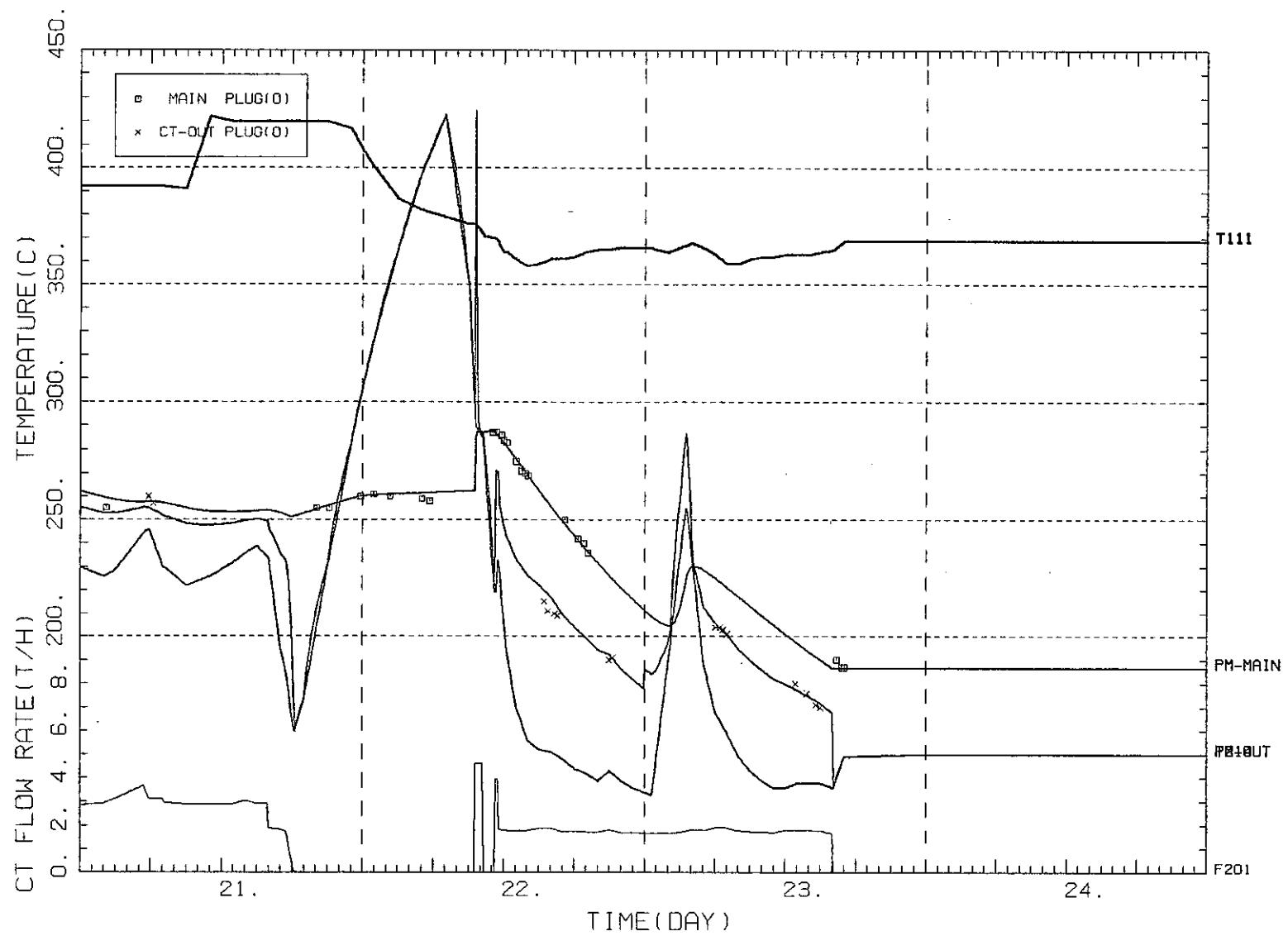


FIGURE 3.2.4(f) OXYGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

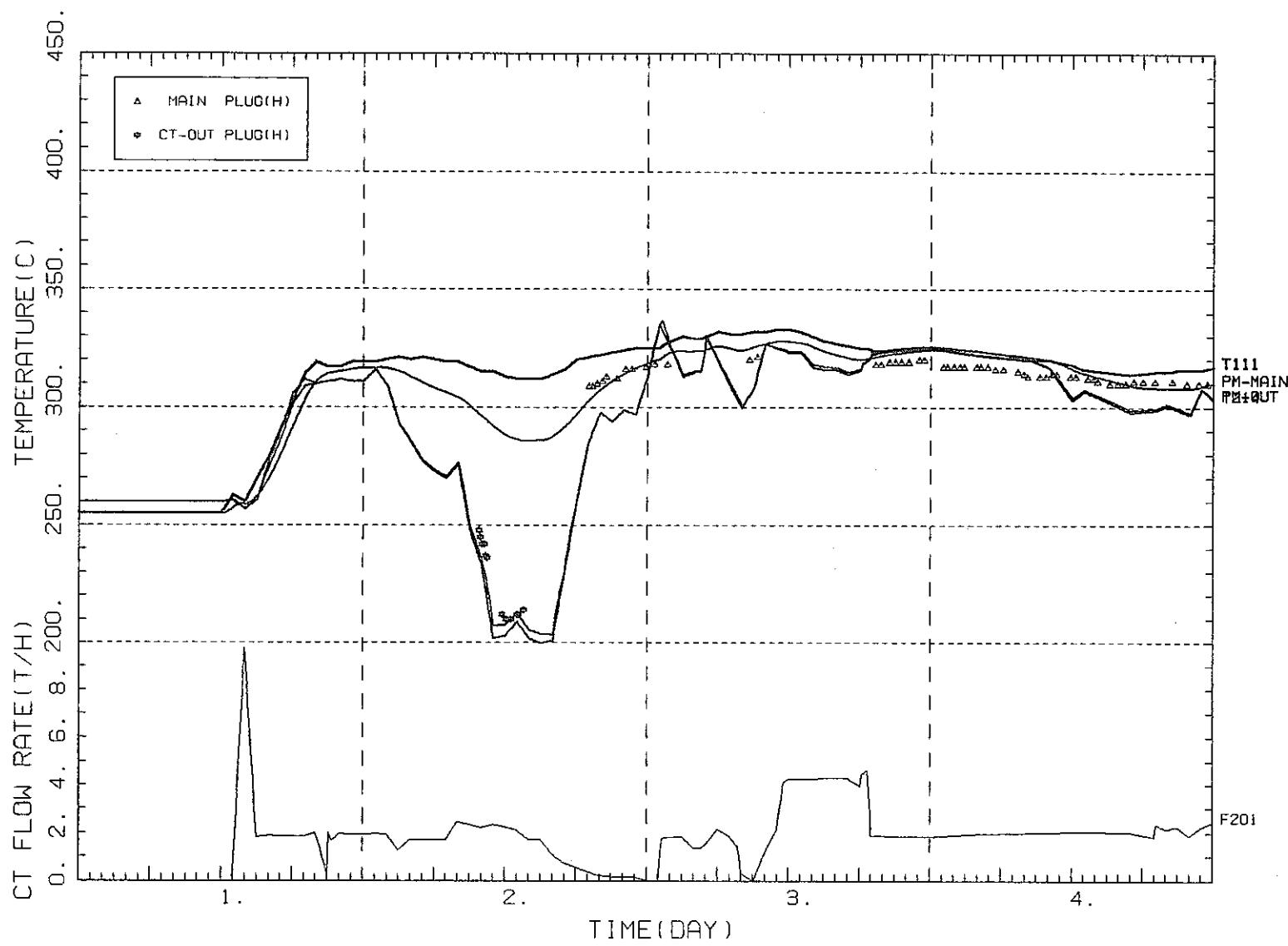


FIGURE 3.2.5(a) HYDROGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

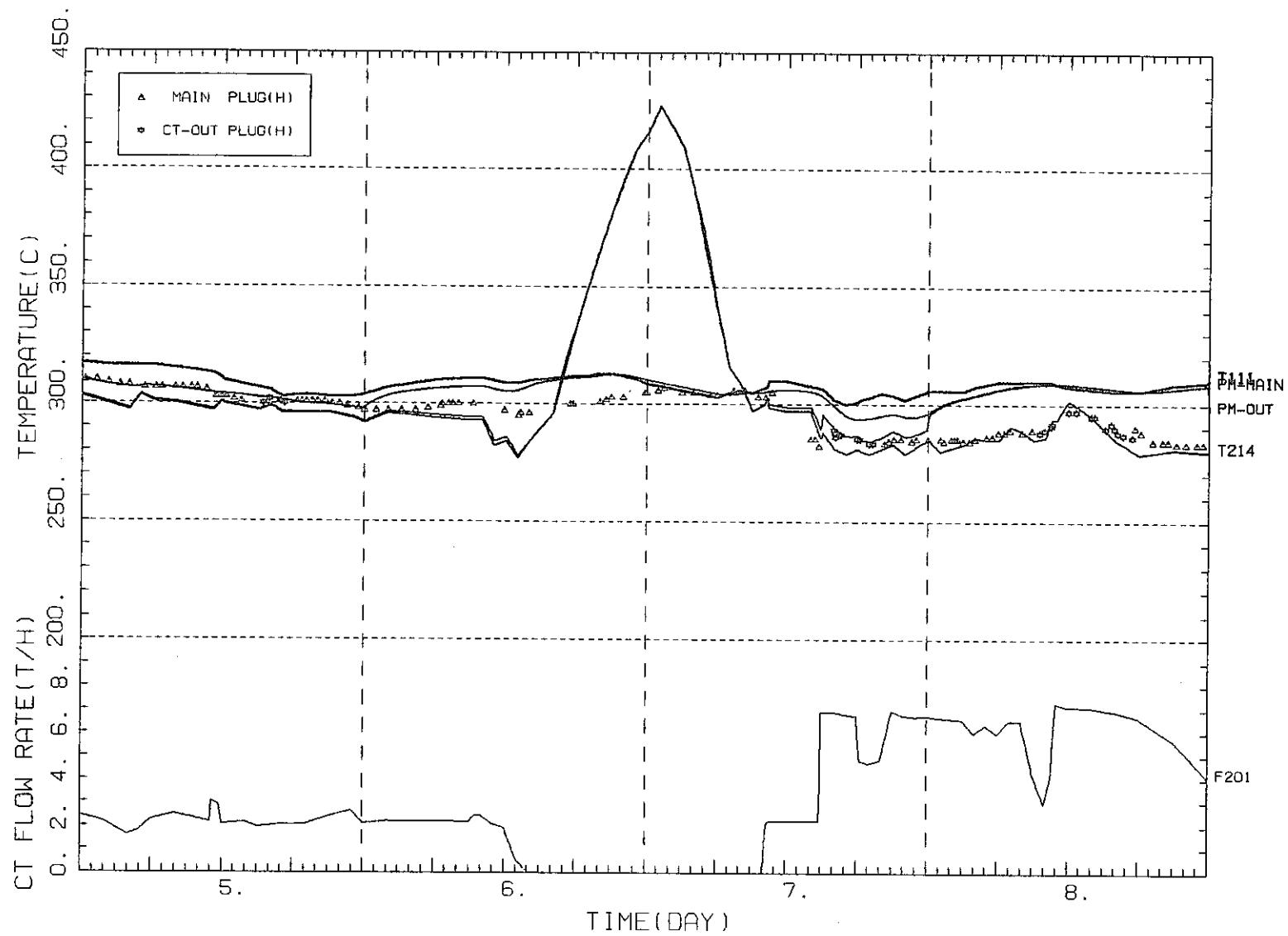


FIGURE 3.2.5(b) HYDROGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

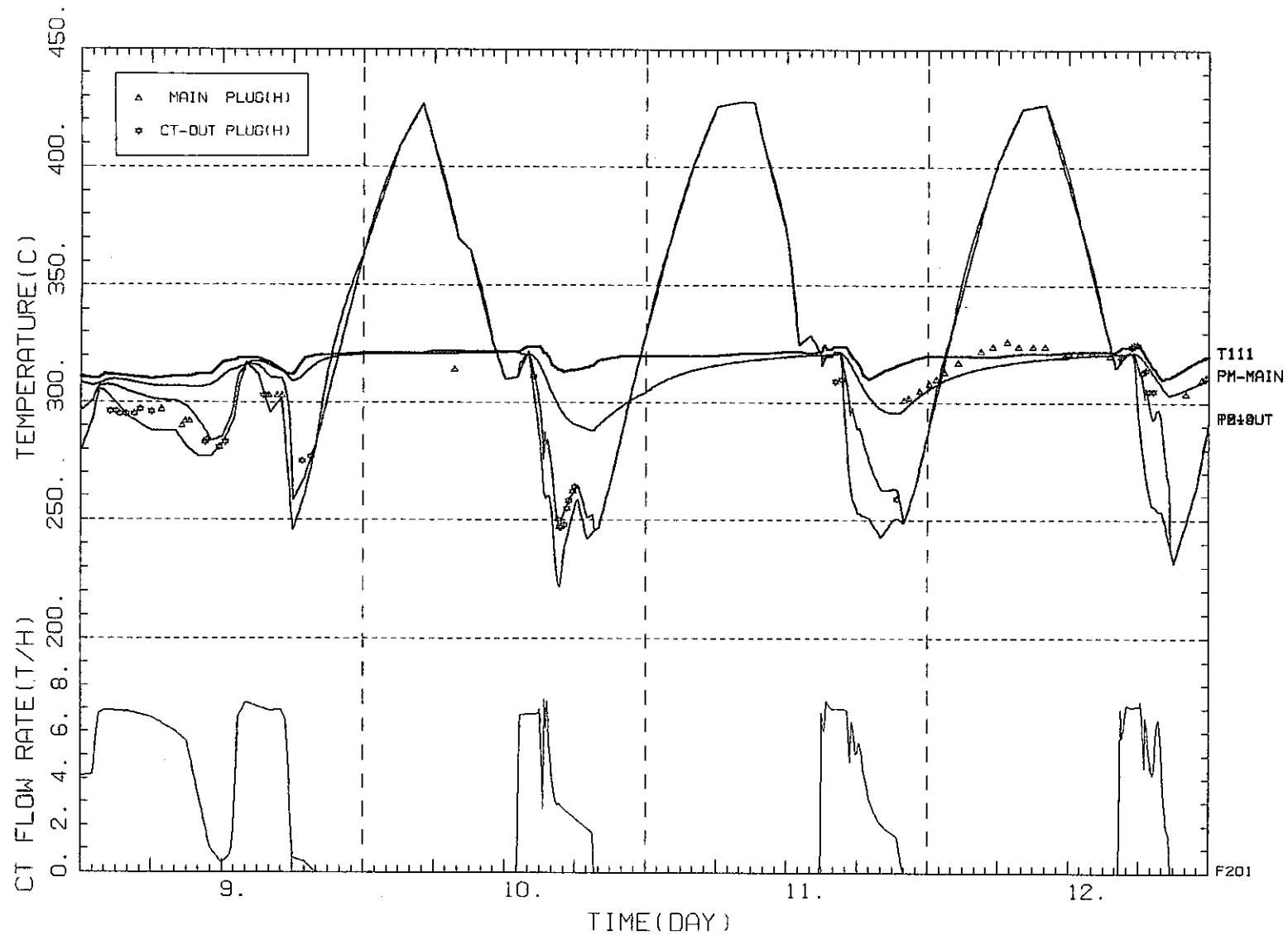


FIGURE 3.2.5(c) HYDROGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 – 26 , 1984

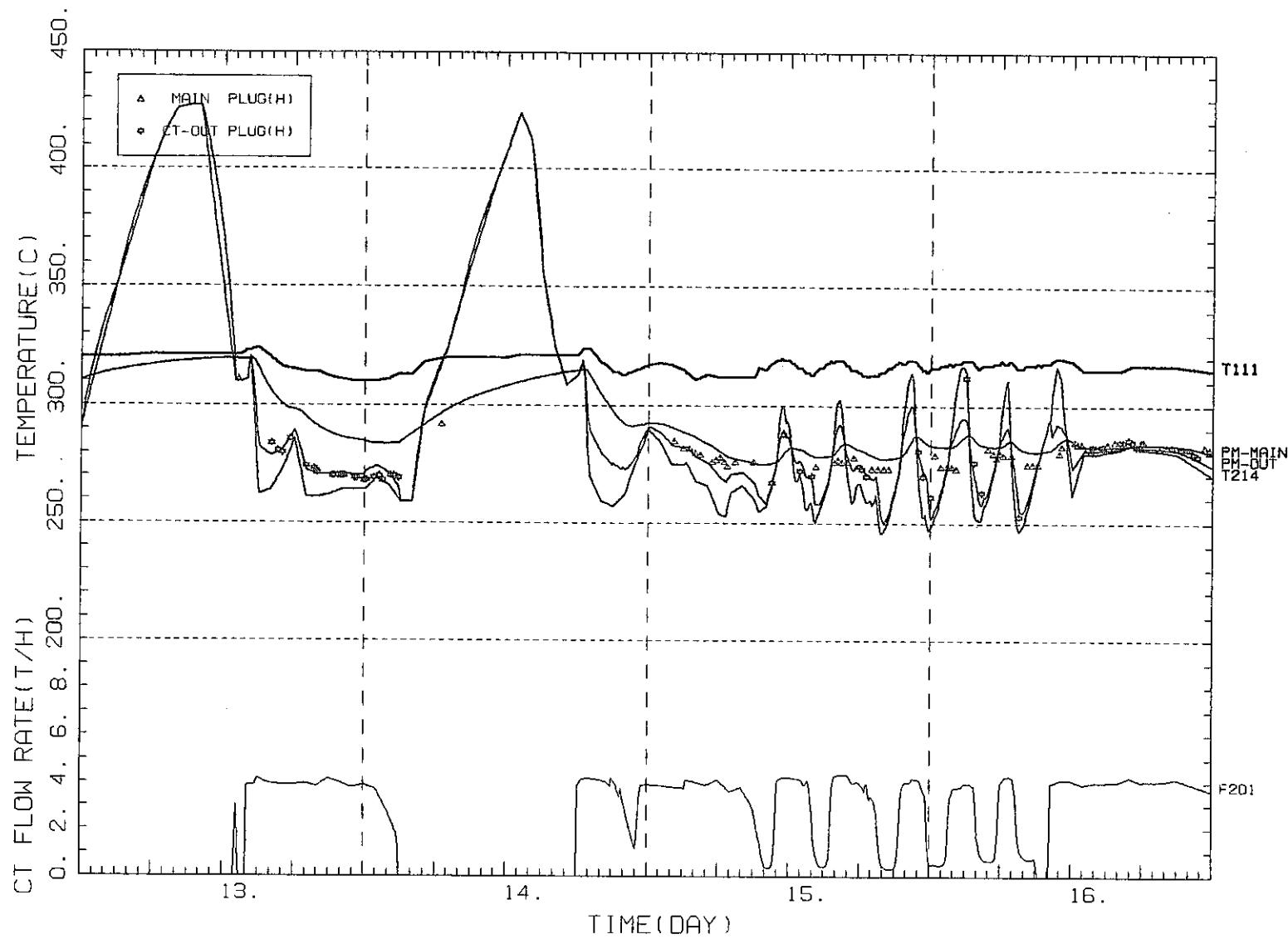


FIGURE 3.2.5(d) HYDROGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

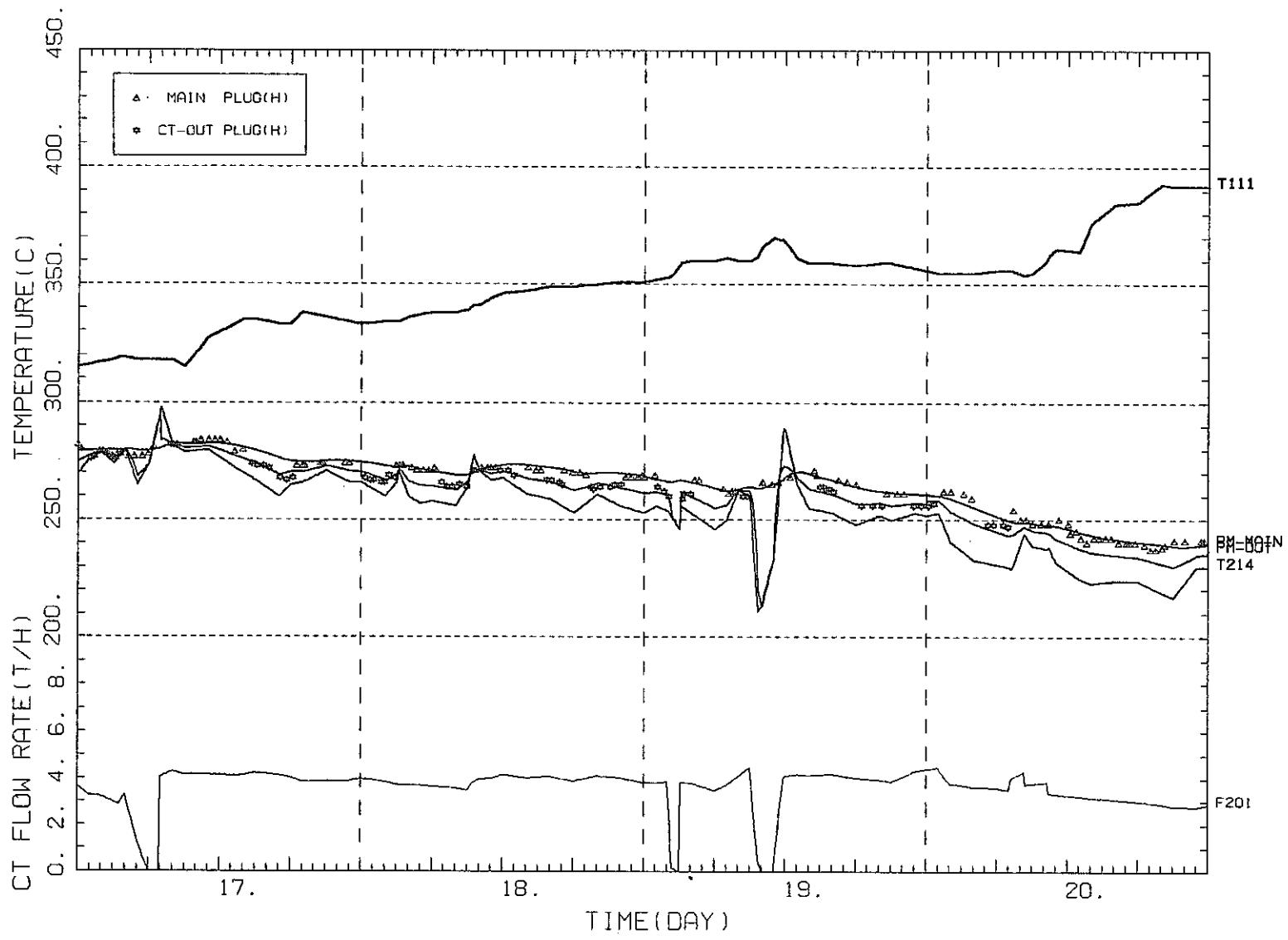


FIGURE 3.2.5(e) HYDROGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 – 26 , 1984

- 7 -

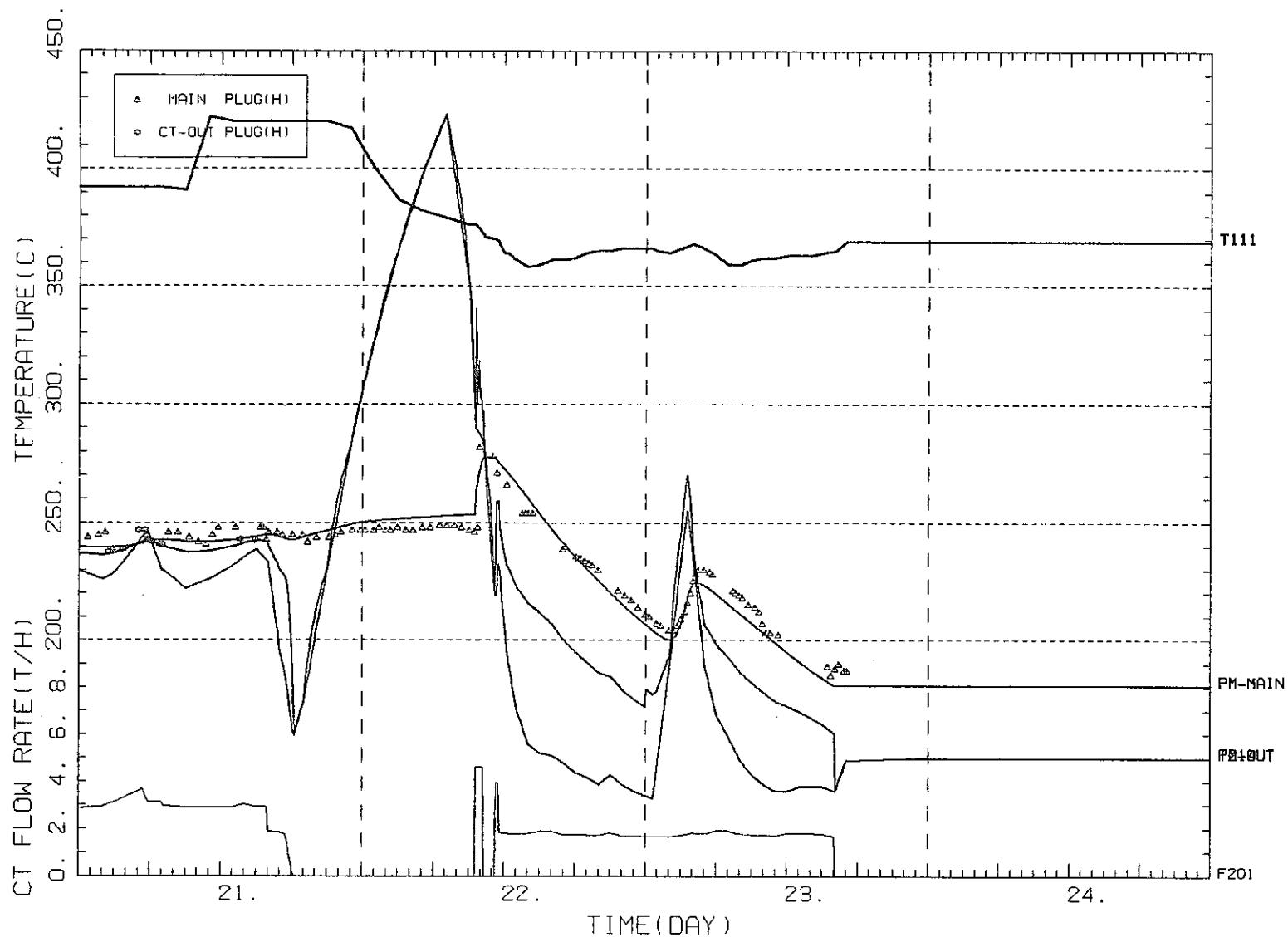


FIGURE 3.2.5(f) HYDROGEN PLUGGING TEMPERATURES IN RECT - 2
APRIL 4 - 26 , 1984

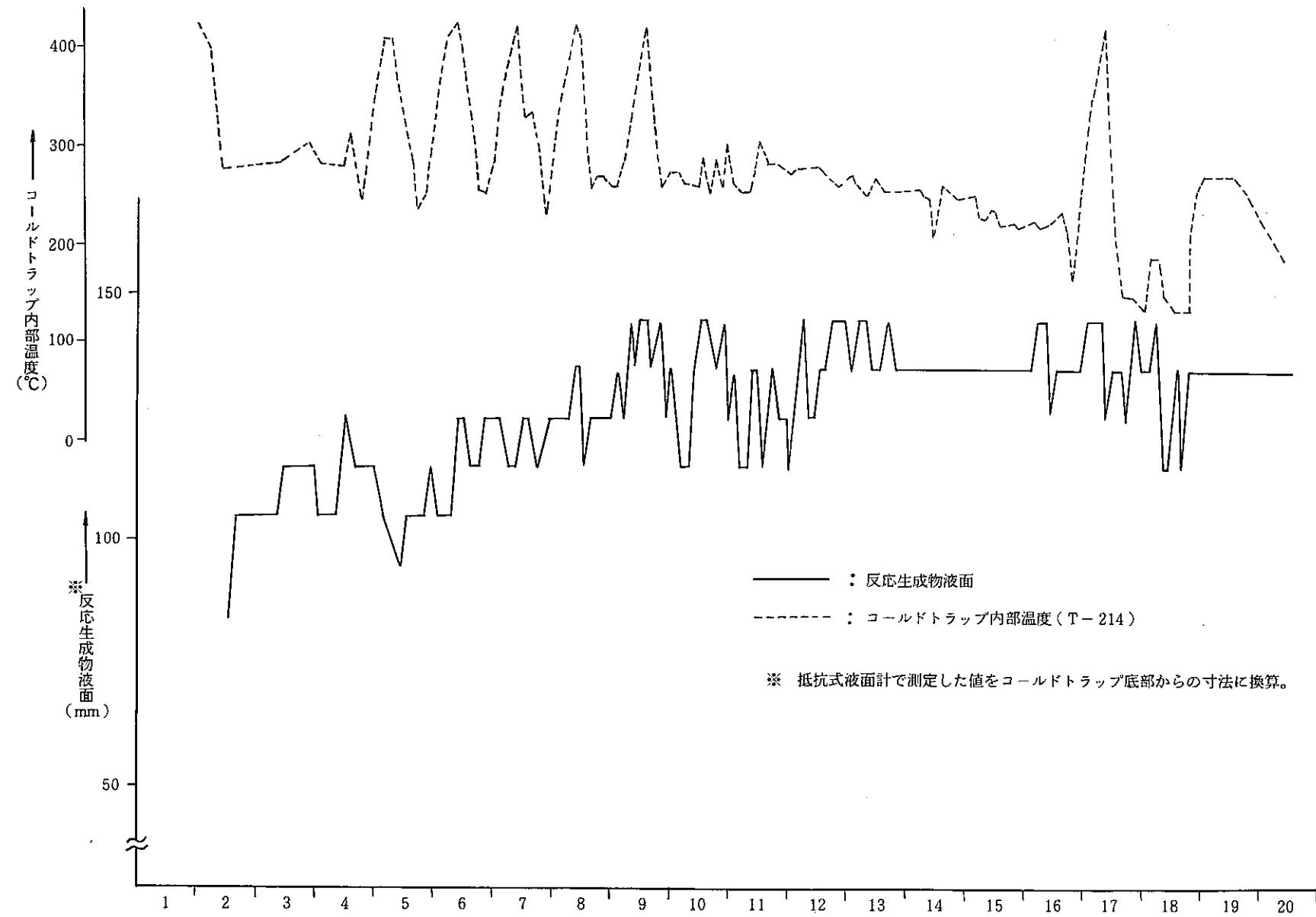
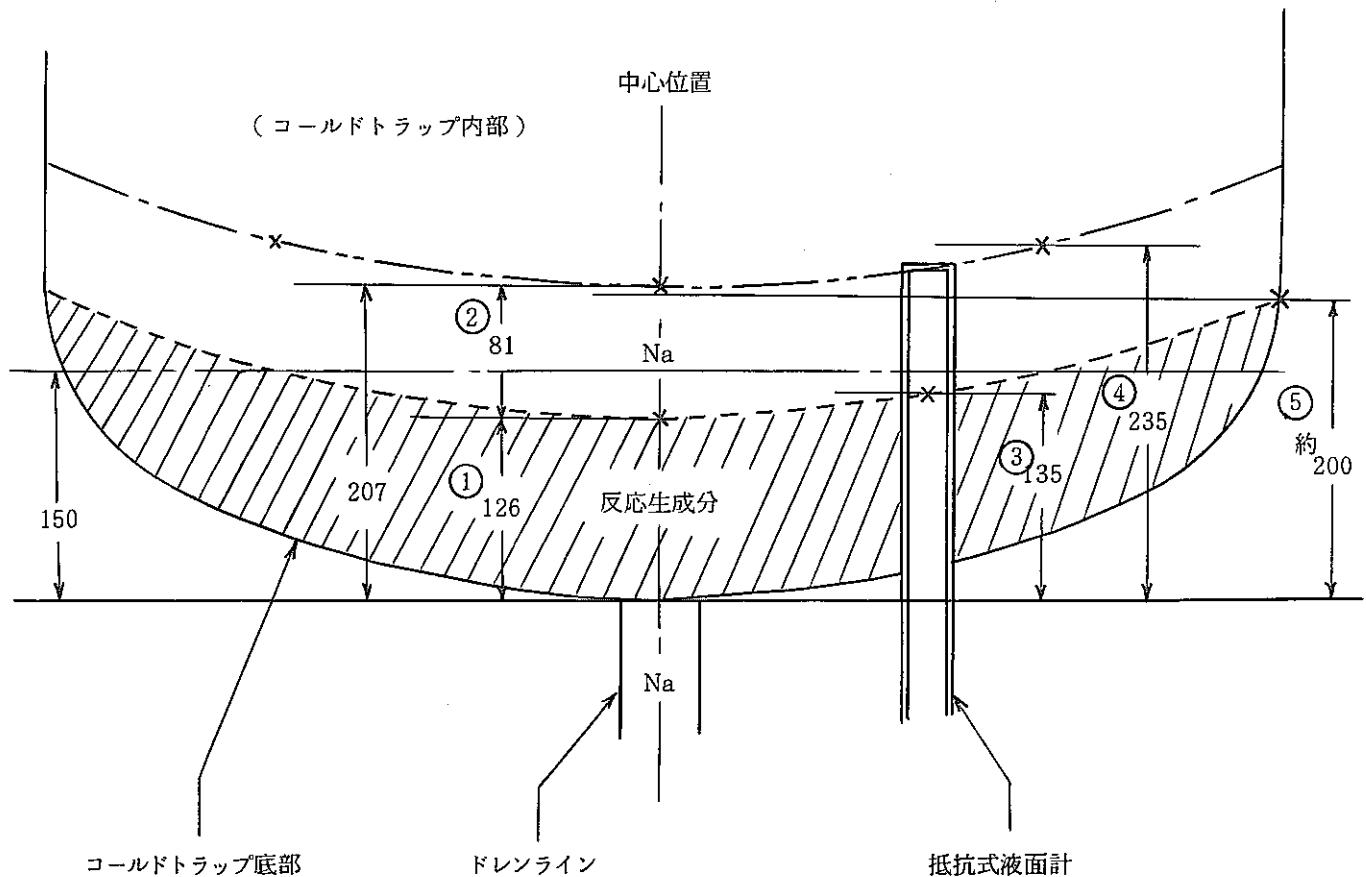


Fig. 3.4.1 抵抗式液面計出力変化推移



① ドレンラインから測定した反応生成物層の寸法（中心位置）

② ドレンラインから測定したNa層の寸法（中心位置）

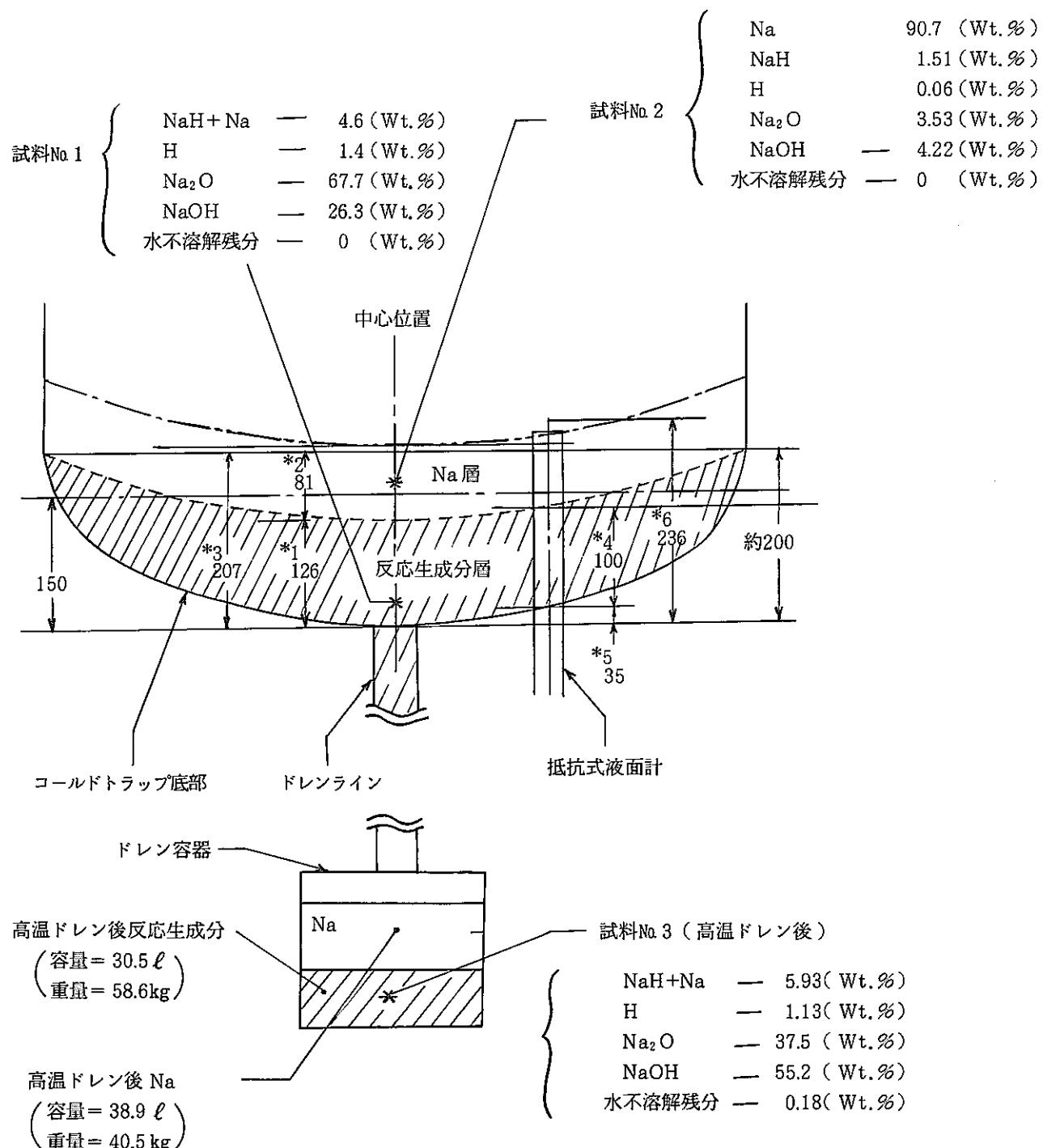
③ 抵抗式液面計で測定した寸法（中心より 175 mm ずれ）

④ 上部サイフォン管ラインから測定した寸法

⑤ ドレン後の反応生成物付着状況から確認した寸法（壁面）

※ 以上の測定結果よりコールドトラップ内のNa, 反応生成物層は、
図のようになる。

Fig. 3.4.2 RECT-II 試験後コールドトラップ内状況



(試料No. 1, No. 2 : RECT-II 運転後(常温時)に採取したサンプル
 (試料No. 3 : コールドトラップ内反応生成分(Naを含む)を高温ドレンした際に採取したサンプル

Fig. 3.4.3 試料のサンプリング箇所及び分析結果

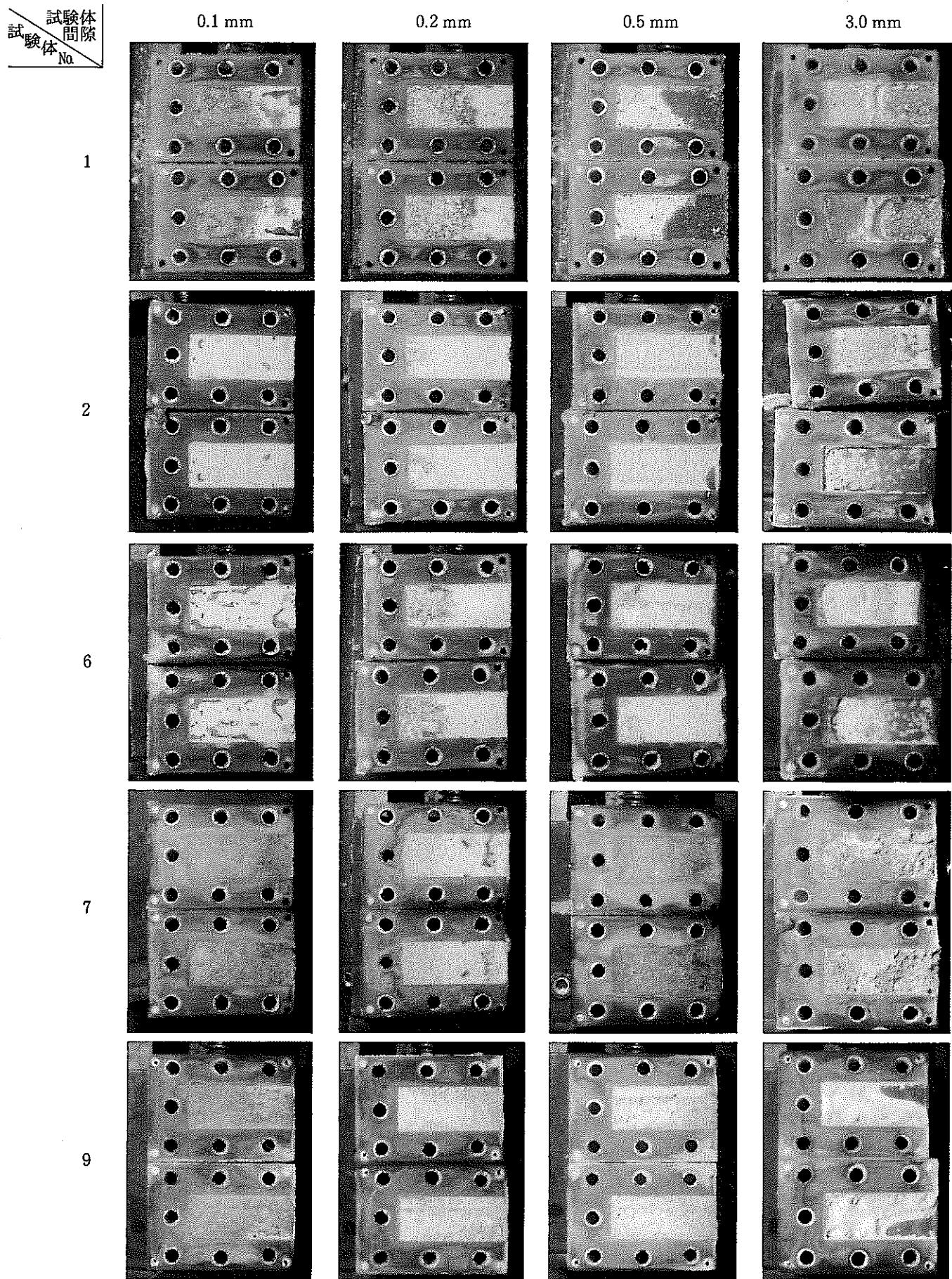


Fig. 3.5.1 隙間試験体解体写真

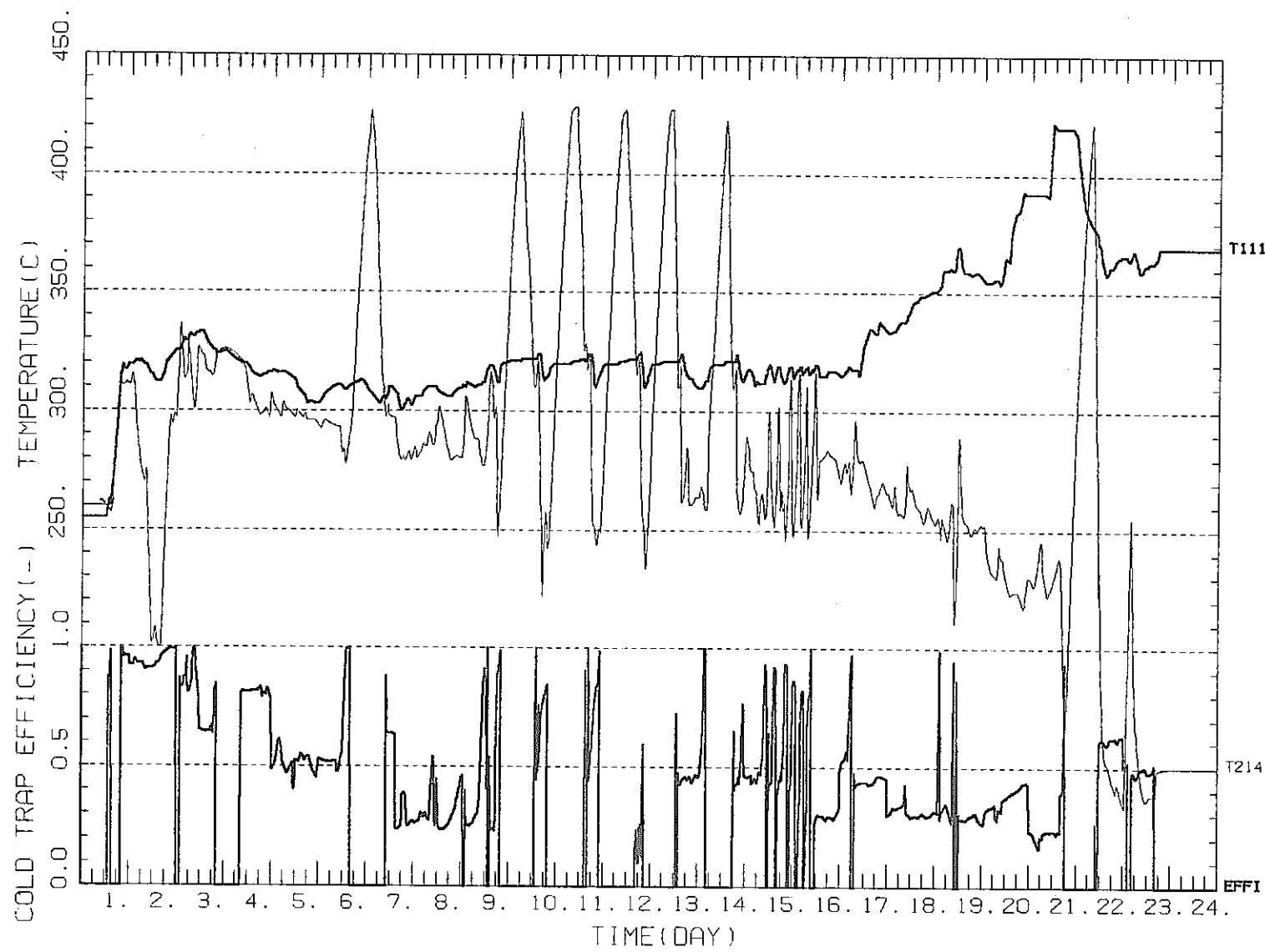


FIGURE 4.2.1 HISTORY OF COLD TRAP EFFICIENCY (RECT - 2)
APRIL 4 - 26 , 1984

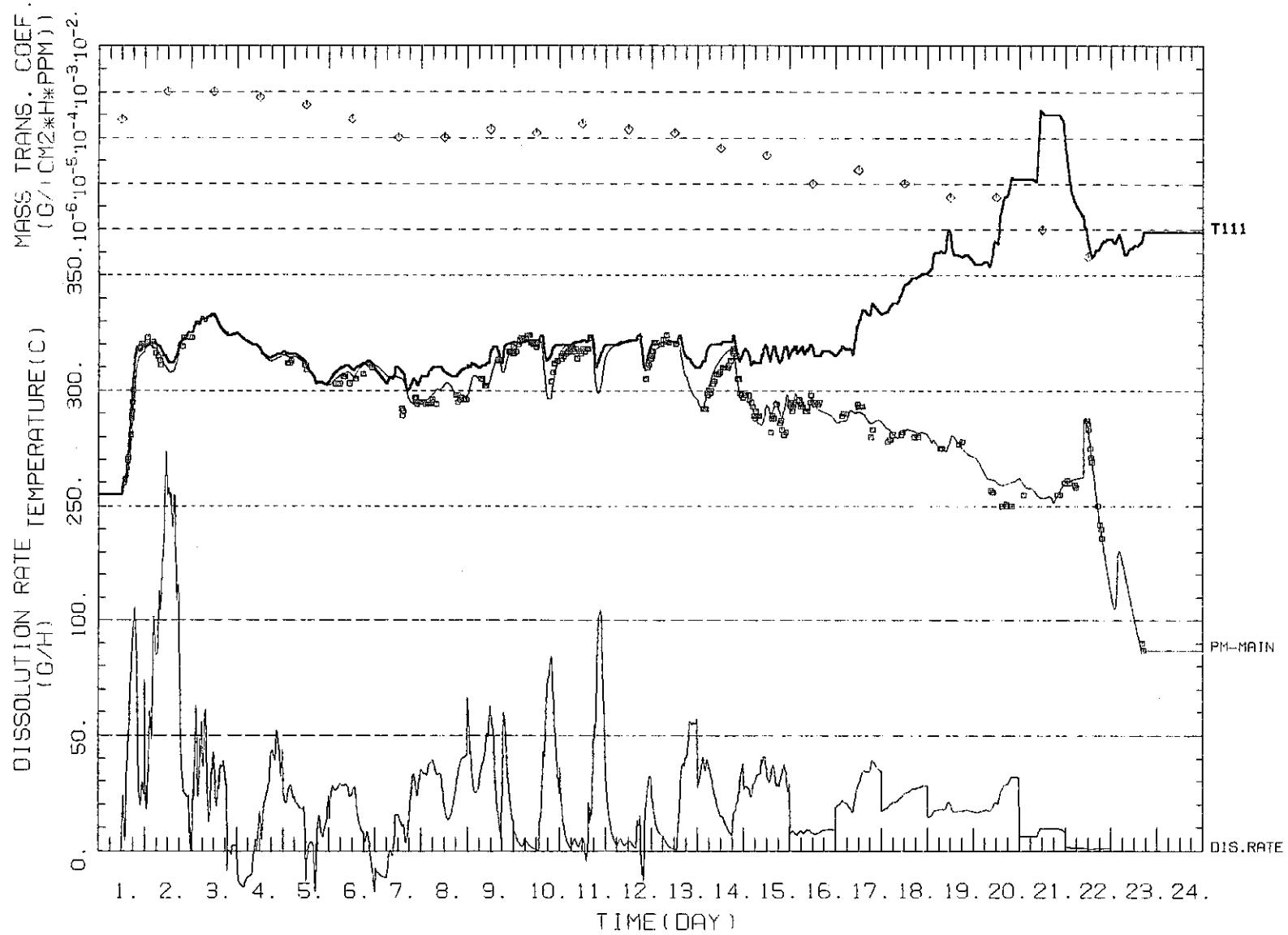


FIGURE 4.2.2 HISTORY OF DISSOLUTION RATE AND MASS TRANSFER COEFFICIENT